



**KARBON NOKTA YAPILARININ SENTEZİ VE
FOTOLÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Kübra BİLMİŞOĞLU BİÇER

**Yüksek Lisans Tezi
Kimya Anabilim Dalı
Fizikokimya Bilim Dalı
Prof. Dr. Abdullah MENZEK
2017
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARBON NOKTA YAPILARININ SENTEZİ VE
FOTOLÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Kübra BİLMİŞOĞLU BİÇER

**KİMYA ANABİLİM DALI
Fizikokimya Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ ONAY FORMU



**KARBON NOKTA YAPILARININ SENTEZİ VE FOTOLÜMİNESANS ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Prof. Dr. Abdullah MENZEK danışmanlığında, Kübra Bilmişoğlu BİÇER tarafından hazırlanan bu çalışma, 31/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Anabilim Dalı Fizikokimya Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği / oy çokluğu (.../...) ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Songül DUMAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Abdullah MENZEK

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ebru BOZKURT

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 02.02/2017 tarih ve ..05.../..31..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARBON NOKTA YAPILARININ SENTEZİ VE FOTOLÜMINESANS ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kübra BİLMİŞOĞLU BİÇER

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı
Fizikokimya Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdullah MENZEK

Bu tez çalışması kapsamında, kırmızı soğandan karbon nokta numuneleri hazırlandı. Elde edilen karbon nokta numunesinin yapısını belirlemek için XRD ve FTIR spektrumları alındı. Ayrıca karbon nokta numunelerinin boyut ve yüzey yükü analizleri de yapıldı. Karakterize edilen bu numunelerin fotofiziksel özellikleri incelendi. Bu amaçla numunenin sulu ortamda oda sıcaklığında absorpsiyon ve floresans ölçümleri alındı. Farklı uyarma dalgaboylarında alınan floresans spektrumlarıyla karbon nokta numunesi için en uygun uyarma dalgaboyu belirlendi. Daha sonra karbon nokta numunesinin fotofiziksel özellikleri üzerine konsantrasyon, pH ve sıcaklığın etkisi incelendi. Konsantrasyon çalışmaları ile uygun çözeltinin 250 µl/4950 µl saf su karışımı olduğu belirlendi. Bu konsantrasyonda yapılan pH çalışması ile karbon noktanın fizyolojik pH'ya yakın değerlerde ve yüksek sıcaklıklarda floresans özelliğinin oldukça iyi olduğu ve uzun zaman aralığında (3 ay) kararlılığını koruduğu gözlemlendi. Bu sonuçlar, doğal bir bitkiden elde edilen karbon noktanın biyo-görüntüleme, kimyasal-sensör, nanomedikal ve ışık saçan diyetler gibi birçok alanda kullanıma sahip olabileceğini gösterdi.

2017, 41 sayfa

Anahtar Kelimeler: Karbon noktalar, fotolüminesans, absorpsiyon, floresans

ABSTRACT

Master Thesis

THE SYNTHESIS of CARBON DOTs and INVESTIGATION of THEIR PHOTOLUMINESCENCE PROPERTIES

Kübra BİLMİŞOĞLU BİÇER

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemistry
Department of Physical Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. Abdullah MENZEK

In this thesis, carbon quantum dot samples were prepared by using the red onion. XRD and FTIR spectra were taken to determine the structure of the obtained carbon dot samples. It was also analyzed the size and surface load of the carbon dots sample. The photophysical properties of these samples were investigated. For this purpose, absorption and fluorescence measurements of the samples were taken at room temperature in aqueous media. The optimum excitation wavelength for the carbon dot sample was determined with the fluorescence spectra taken at different excitation wavelengths. Then, the effect of concentration, pH and temperature on the photophysical properties of the carbon dots sample was investigated. The concentration studies indicated that the appropriate solution was a mixture of 250 μ l / 4950 μ l pure water. With the pH study performed at this concentration, it was observed that the carbon dot had a very good fluorescence property at values close to physiological pH and high temperatures and it maintained its stability over a long period of time (3 months). These results showed that carbon dot obtained from a natural plant can be used in many field, such as bio-imaging, chemical-sensors, nanomedical and light emitting diodes.

2017, 41 pages

Keywords: Carbon dots, photoluminescence, absorption, fluorescence.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümünde Sayın Prof. Dr. Abdullah MENZEK yöneticiliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmamı maddi açıdan destekleyen Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümüne teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Tez çalışmalarımın en önemli anlarında bana her türlü sorularımda yardımcı olup manevi desteğini üstümden eksik etmeyen Sayın Prof. Dr. Yavuz ORGANER'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Ebru BOZKURT'a teşekkür ederim.

Ayrıca numunelerin boyut ve yüzey yükü ölçümleri için Akdeniz Üniversitesi'nde yüksek lisans öğrencisi olan Sayın Mehmet MOR'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca desteklerinden dolayı Sayın Arş. Gör. A. Merve ŞENOL'e, Sayın Tuba Ezgi TÜZEMEN, Gülşah ÇELİKDAĞ'a ve grup arkadaşlarıma, desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Nurdan GÖNÜL, Özkan BALTACI'ya deneyler esnasında her konuda yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Ailem, annem Nevin BİLMİŞOĞLU, hayatta olmasada yanımdaymış gibi hissettiğim babam Recep BİLMİŞOĞLU, eşim Abdullah BİÇER, abim Yasin BİLMİŞOĞLU, eşi Hanife BİLMİŞOĞLU'na benim emeklerimin yanında bana katlanan bu özel insanlara sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Kübra BİLMİŞOĞLU BİÇER

Ocak, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Işık-Madde Etkileşimi	1
1.2. Karbon Nano Allotrop ve Karbon Nokta Yapıları	6
1.2.1. Karbon noktaların kimyasal özellikleri	9
1.2.2. Karbon noktaların optik özellikleri	10
1.2.3. Karbon noktaların biyolojik toksisitesi	12
2. KAYNAK ÖZETLERİ	13
3. MATERYAL ve YÖNTEMLER	17
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler	17
3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar	17
3.3. Numunelerin Hazırlanması	17
3.4. Kuantum Veriminin Hesaplanması	18
3.5. Floresans Yaşam Ömrünün Belirlenmesi	18
3.6. Zeta Potansiyel ve Partikül Dağılımı	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	21
5. SONUÇ	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	42

KISALTMALAR DİZİNİ

CDs	Karbon noktalar
CNDs	Karbon nano noktalar
CNTs	Karbon nanotüpler
CQDs	Karbon kuantum noktalar
CEE	Çapraz bağlı-artırılmış emisyon
GQDs	Grafen kuantum noktalar
GO	Grafen oksit
KV	Kuantum verimi
PDs	Polimerik noktalar
QD	Kuantum nokta

ŞEKİLLER DİZİNİ

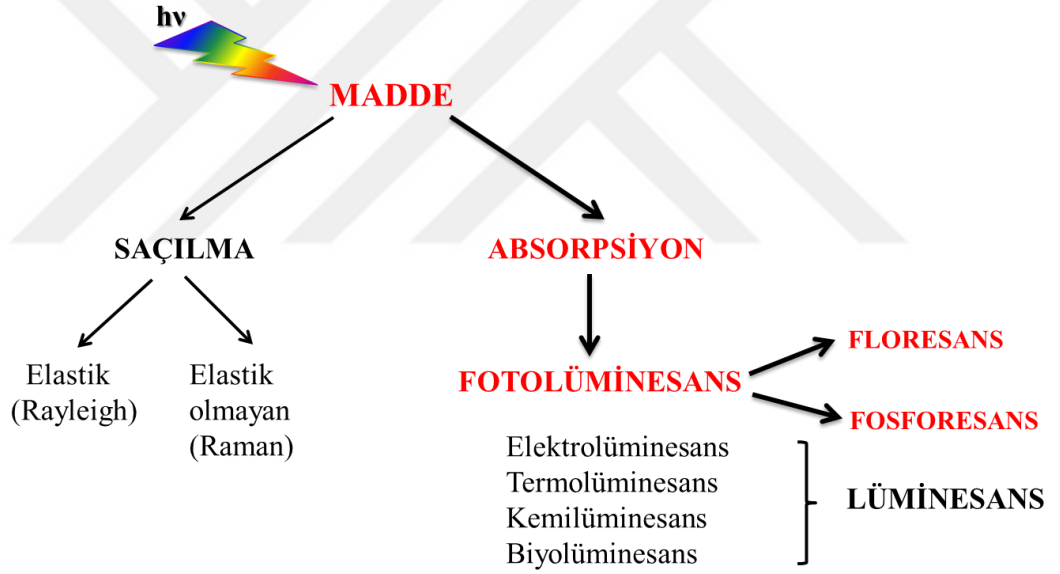
Şekil 1.1. Işık-madde etkileşimi.....	1
Şekil 1.2. Moleküllerin elektronik yapıları	2
Şekil 1.3. Jablonski Diyagramı	3
Şekil 1.4. Kronolojik sıraya göre farklı karbon yapıları	7
Şekil 1.5. Çeşitli karbon kuantum nokta tipleri	9
Şekil 1.6. Floresans karbon kuantum nokta türlerinin temsili gösterimi	10
Şekil 3.1. Kinin Bisülfat molekül yapısı.....	18
Şekil 3.2. Puls tekniğinin şematik gösterimi.....	20
Şekil 4.1. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin XRD spektrumu.....	21
Şekil 4.2. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin FTIR spektrumu.....	22
Şekil 4.3. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunelerinin partikül ölçüm grafiği	23
Şekil 4.4. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunelerinin partikül ölçümü istatistikleri.....	23
Şekil 4.5. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunelerinin zeta potansiyeli dağılım grafiği	24
Şekil 4.6. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin absorpsiyon spektrumu	25
Şekil 4.7. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı dalga boylarındaki floresans spektrumları (a) ham (b) normalize.	26
Şekil 4.8. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin (a) gün ışığı (b) UV ışık altındaki görüntüsü.	27
Şekil 4.9. Farklı konsantrasyonlardaki karbon nokta yapısının saf sudaki absorpsiyon spektrumları	28
Şekil 4.10. Farklı konsantrasyonlardaki karbon nokta yapısının saf sudaki floresas spektrumları (λ_{exc} = 360 nm)	28

Şekil 4.11. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı pH değerlerindeki absorpsiyon spektrumları.....	29
Şekil 4.12. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı pH değerlerindeki floresans spektrumları ($\lambda_{exc}= 360$ nm).....	30
Şekil 4.13. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı pH değerlerinde günışığı (üstte) ve UV ışık (altta) altındaki görünümleri	30
Şekil 4.14. Zeta potansiyeli ile pH arasındaki ilişki	31
Şekil 4.15. Karbon noktanın floresans şiddetiyle pH ilişkisi.....	32
Şekil 4.16. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı sıcaklıklardaki absorpsiyon spektrumları.	32
Şekil 4.17. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı sıcaklıklardaki floresans spektrumları ($\lambda_{exc}= 360$ nm).	33
Şekil 4.18. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin ilk ve 3 ay sonraki absorpsiyon spektrumu.	34
Şekil 4.19. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin ilk ve 3 ay sonraki floresans spektrumu ($\lambda_{exc}= 360$ nm).	34

1. GİRİŞ

1.1. Işık-Madde Etkileşimi

Madde ile ışığın etkileşimi sonucu meydana gelebilecek birçok olay söz konusudur. Bu olaylardan birisi de lüminesanstır. Lüminesans, elektronik olarak uyarılmış bir türden ultraviyole, görünür veya infrared fotonlarının emisyonudur. Lüminesans türleri, uyarma kaynağına göre değişmektedir. Maddenin ışık ile etkileşimi sonucunda meydana gelebilecek olaylar Şekil 1.1’de özetlenmiştir.

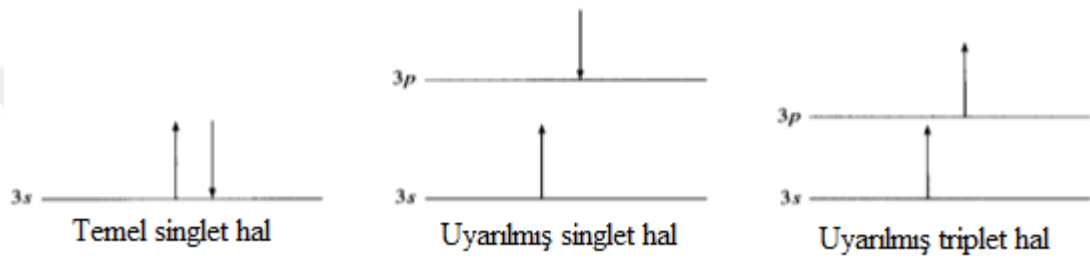


Şekil 1.1. Işık-madde etkileşimi

Uyarma olayı (absorpsiyon), absorbe edici türleri elektronik uyarılmış duruma getiren bir fotonun emilimidir. Durulma ile birlikte fotonların emisyonuna, ışığın madde ile etkileşiminden kaynaklanan olası fiziki etkilerden biri olan fotolüminesans (floresans, fosforesans veya gecikmiş floresans) adı verilir (Valeur 2001).

Fotolüminesans; fotonun absorpsiyonu ile molekül veya atomda oluşan elektronik uyarılmanın sonucunda gerçekleşir. Atomik türler ile moleküler türlerin

fotolüminesansları farklıdır. Moleküler türlerde, uyarılma ile emisyon farklı dalga boylarında gerçekleşirken, atomik emisyonunda ise hem uyarılma hem de emisyon aynı dalga boyunda gerçekleşmektedir. Moleküllerin bir kısmının fotolüminesans özellik göstermedikleri, bazılarının da fotolüminesans özellikler gösterdiği bilinmektedir. Moleküllerin elektronik yapıların, lüminesans özellikleri anlama açısından bilinmesinde fayda vardır. Bir molekülün sahip olabileceği elektronik yapılar Şekil 1.2’de verilmiştir (Bozkurt 2013).



Şekil 1.2. Moleküllerin elektronik yapıları (Akar 2015)

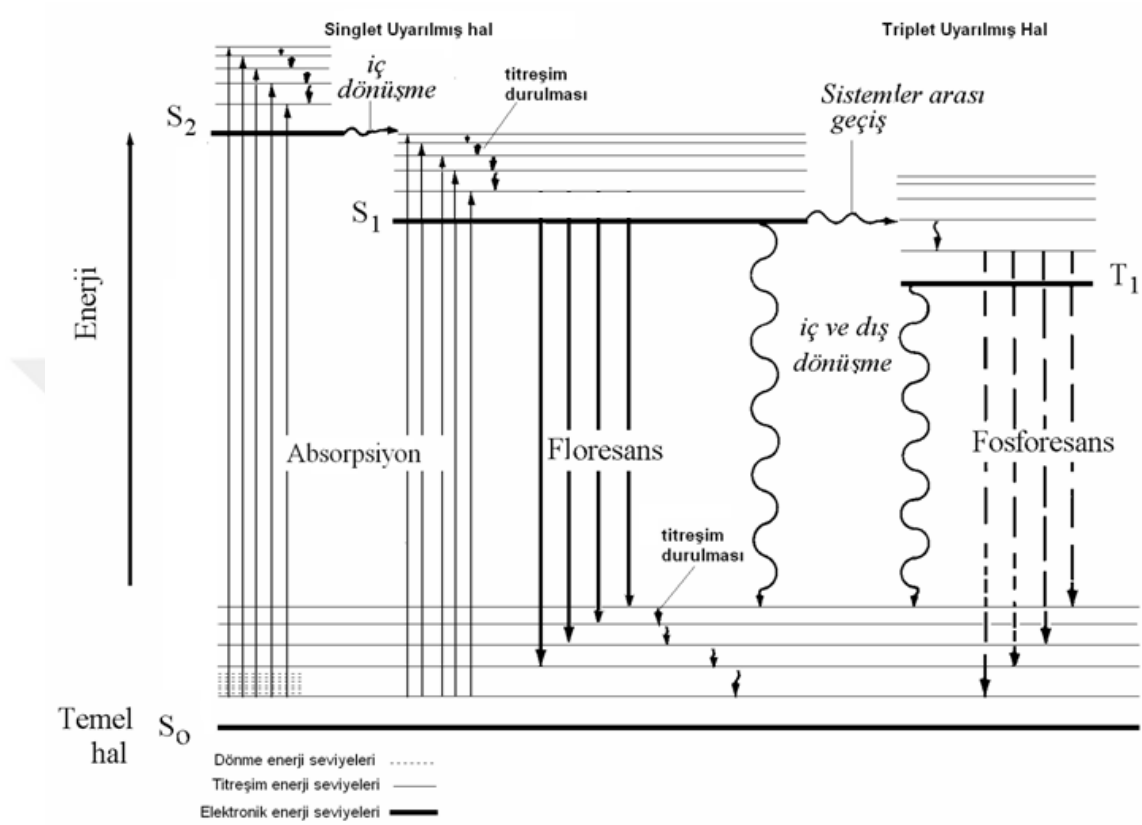
Elektron spinlerinin eşleşmiş olduğu moleküllerin elektronik hali **singlet** hal olup, molekülün bir manyetik alana bırakılması sonucu elektronik enerji seviyelerinde hiçbir yarılma görülmez.

Serbest radikal için temel hali **doublet** halidir. Sebebi ise, tek elektronun bir manyetik alan içinde, sisteme çok az farklı enerjilerde katkı yapan iki yönlenmeye sahip olduğu kabul edilebilmektedir.

Bir molekülün bir çift elektronundan biri daha yüksek bir enerji seviyesine uyarılırsa ya bir **singlet** ya da bir **triplet** hal meydana gelir.

Singlet→Triplet geçişinin, Singlet→Singlet geçişine göre gerçekleşme ihtimali daha azdır. Sonuçta uyarılmış triplet halinin ortalama ömrü 10^{-4} saniye kadardır. Bir uyarılmış singlet halinin ortalama ömrü ise 10^{-8} ile 10^{-12} saniye kadardır.

Moleküler elektronik uyarılma ve sonrasındaki prosesler Jablonski diyagramı ile gösterilmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Jablonski Diyagramı (Reza 2015)

Singlet-Singlet absorpsiyonu: Singlet temel halden singlet uyarılmış hale elektronik geçiştir. Bu geçiş müsaade edilen bir geçiştir ve aşağıdaki denklemlle ifade edilir.



ϵ ($S_0 \rightarrow S_1$) olarak karakterize edilmektedir. ϵ molar absorpsiyon katsayısı olup bu elektronik geçişin gücü hakkında fikir vermektedir. $S_0 \rightarrow S_1$ geçişi 10^{-15} saniyelik bir zamanda gerçekleşmektedir.

Singlet –Triplet absorpsiyonu: Temel singlet halden, uyarılmış triplet hale geçiştir. Bu geçişte elektron spin değiştirmektedir. Elektron spinini değiştirdiği için spektroskopik olarak

yasaklı bir geçiştir. Bu yüzden bu olayın gerçekleşme ihtimali oldukça zayıftır ve aşağıdaki denklemle ifade edilir.



ε ($S_0 \rightarrow T_1$) şeklinde karakterize edilmektedir. Sistemler genellikle singlet uyarılmış haller üzerinden triplet uyarılmış hale geçiş yapabilmektedirler.

Floresans: Müsaade edilen singlet-singlet emisyonudur. Singlet uyarılmış halden singlet temel hale geçiştir. Bu elektronik geçiş esnasında moleküler sistem sahip olduğu fazla enerjiyi dışarıya yani çevresine ışıma şeklinde salar. Yaklaşık 10^{-8} saniyelik bir zaman aralığında gerçekleşmektedir. Bu olayın hız sabiti k_f olarak gösterilir.

Floresansın en basit tipi, seyreltik atomik buharların gösterdiği floresanstır. Buna örnek olarak, buhar halindeki sodyum atomlarının 3s elektronları, 589,6 ve 589 nm'lik dalga boylarındaki ışınların absorpsiyonu ile 3p enerji seviyesine uyarılabilmektedir. Sonuçta 10^{-5} - 10^{-8} saniye sonra, elektronlar temel duruma geri dönmekte ve aynı iki dalga boyunda ışık yaymaktadırlar. Frekansta değişiklik olmadan absorplanan ışının yeniden yayılması sonucunda meydana gelen floresansın bu türüne **rezonans ışıması** veya **rezonans floresans** adı verilmektedir. Floresans olayı aşağıdaki denklemle karakterize edilmektedir.



Fosforesans: Triplet-singlet emisyon basamağı olup, triplet uyarılmış halden singlet temel hale geçerken molekülün uyarılmış enerji seviyesindeki elektronu spin değiştirmektedir. Bu durum yasaklanmış geçiş olarak bilinmektedir. 10^{-4} - 1 saniye gibi bir zaman diliminde gerçekleşir. Fosforesans hız sabiti k_p ile verilir ve denklemi ise aşağıdaki gibidir.



Floresanstaki elektronik enerji aktarımının elektronun spininde herhangi değişiklik oluşturmaması sonucunda fosforesanstan ayrılmaktadır. Bunun sonucunda, floresans hemen yok olan bir lüminesanstır ve kısa ömürlüdür. Fosforesans emisyonlarına bakıldığında elektron spinindeki bir değişme, ışınlamanın bitmesinden sonra kolayca görülür ve genellikle birkaç saniye hatta ışımanın daha uzun sürmesine sebep olmaktadır.

İç dönüşüm: Genellikle uyarılmış elektronik enerji seviyelerinin ($S_2 \rightarrow S_1$) titreşim enerji seviyeleri arasında gerçekleşen ışımasız bir geçiş olup, bazen de sistem S_1 enerji seviyesinden temel hale (S_0) ışımasız geçebilmektedir. İç dönüşümde absorplanan enerji ısı şeklinde verilirken moleküllerin azda olsa kinetik enerjileri arttıracaktır. Singlet uyarılmış halin enerji seviyesi, singlet temel halin enerji seviyesine yakın olduğunda molekül ışımasız olarak yani iç dönüşüm yaparak temel hale dönecektir.



Zaman bakımından 10^{-12} saniyelik bir sürede gerçekleşmektedir ve bu geçişin hız sabiti k_{IC} ile verilir.

Sistemler arası geçiş: Işımasız gerçekleşen bir olay olup spin değişimi olduğu için yasaklanmış bir geçiş şeklindedir. Bu olayın gerçekleşmesinde moleküler yapının etkisi önemli olduğu kadar molekülde bulunan ağır atomların varlığı da önemlidir. Çünkü ağır atomlar triplet hale geçişi kolaylaştırmaktadır.



Bu olayın hız sabiti k_{ST} veya k_{ISC} ile verilir. Sistemler arası geçiş iki uyarılmış hal (S_1 ve T_1) arasında gerçekleştiği görüldüğü gibi triplet uyarılmış halden (T_1) singlet temel hale (S_0) de gerçekleşeceği görülmektedir. Bu olayın hız sabiti ise k_{TS} veya $k_{ISC'}$ şeklindedir. Sistemler arası geçiş, fosforesans olayına göre daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

Titreşimsel durulma: Elektronik enerji seviyesinde aynı zamanda titreşim enerji seviyeleride bulunmaktadır. Elektronik uyarılmış halin en üst titreşim enerji seviyesindeki moleküllerin birbiri ile çarpışması sonucunda uyarılmış halin en alt enerji seviyesine geçmesi olarak söylenebilir. Böylece sahip olunan enerji ısı şeklinde transfer edilir (Bozkurt 2013).

1.2. Karbon Nano Allotrop ve Karbon Nokta Yapıları

Karbon, atom numarası altı olan ve yaşam için gerekli olup, neredeyse tüm moleküllerin yapılarında bulunduğundan dolayı çok önemli bir elementtir. Karbon bütün organik kimyanın temelini oluşturmaktadır. Karbon atomunun yapısının en önemli özelliklerinden biri de sonsuz sayıda arka arkaya birbirleriyle bağlanabilmeleridir. Karbon atomunun pek çok allotropu vardır. Bunlar grafit, elmas, fullaren ve karbon nanotüplerdir.

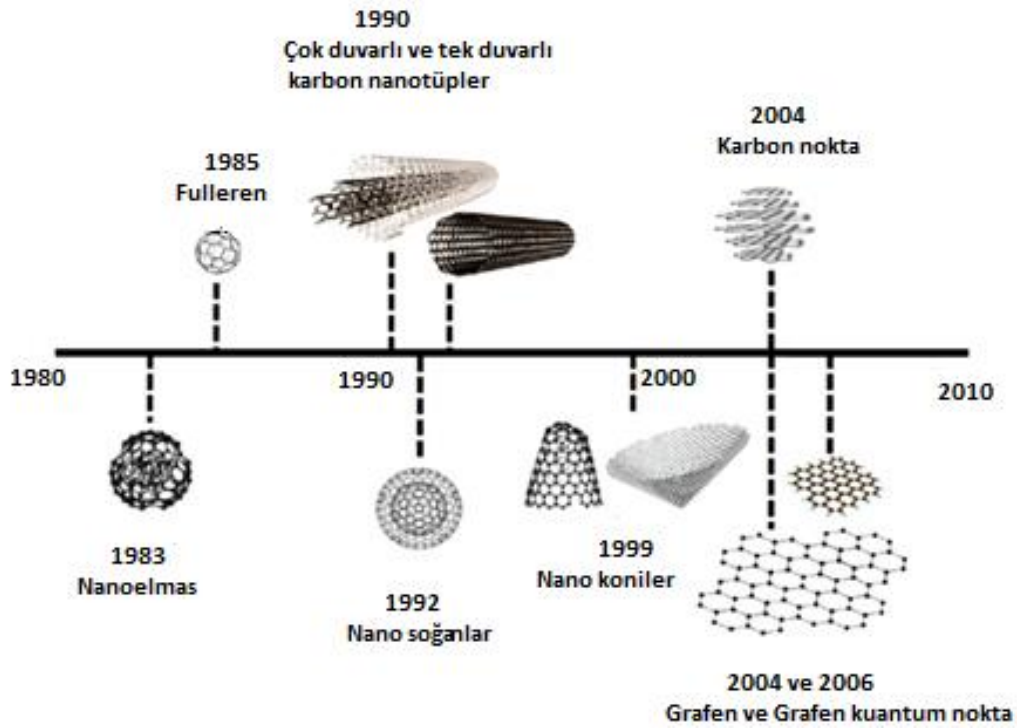
Karbon içeren sistemler çok çeşitli fiziksel özellikleri olan sınırsız sayıda farklı yapılar gösterirler. Bu farklılaşmanın sebebi karbon atomlarının birçok valans bağı oluşturabilmesidir. Bu kimyasal bağlar orbitallerin melezleşmesi ile ilgilidir. Karbonunda sp , sp^2 , sp^3 olmak üzere üç olası melezleşme vardır (Saito *et al.* 1998).

Melezleşme karbon yapılarının boyutluluğunu belirlemede esastır. Sıfır boyuttan üç boyuta kadar izomerleri olan tek element karbondur. Karbon bazlı sistemlerin farklı boyutlarda var olmasının sonucunda çeşitli fiziksel özelliklere sahip karbon içerikli yapılar meydana gelir (Castro Neto *et al.* 2007; Abergel *et al.* 2010).

Gelişen teknoloji ile günümüzde nanoparçacıkların üretimi hız kazanmış ve bu gelişmelerin neticesinde yeni karbonojenik (karbon içeren) nanoyapılar sentezlenmiştir. Nanokarbon yapılar, bağlanma yapıları temel alınarak sp^3 -karbon nanometeryaller ve sp^2 -nanomateryaller olarak sınıflandırılabilir. sp^2 -nanomateryallere; fullerenler, karbon nanotüpler, grafen, karbon nanopartiküller veya karbon nanonoktalar, sp^3 -nanomateryallere ise nanoelmaslar örnek verilebilir.

Günümüze kadar, floresans karbon-temelli nano materyal olarak; karbon nanonoktalar (CNDs) (Baker and Baker 2010; Li *et al.* 2012), floresans karbon nanotüpler (CNTs) (Welsher *et al.* 2009), grafen (Zheng *et al.* 2011), grafen oksit (GO) (Gokus *et al.* 2009; Eda *et al.* 2010), grafen noktalar (GQDs) (Zhu *et al.* 2012; Lin *et al.* 2014), polimer noktalar (PDs) (Liu *et al.* 2012; Zhu *et al.* 2012), nanoelmas (Yu *et al.* 2005; Macholin *et al.* 2012), nanofiberler (Zheng *et al.* 2011), karbon nanofilmler (Yang *et al.* 2014) sentezlenmiştir.

Karbon nano noktalar floresans nanopartiküllerin en yeni sınıfını oluşturmakta olup kuantum nokta ailesinin yeni üyesi olarak görülmektedir (Gonçalves 2013). Son yıllarda keşfedilen karbon nanopartiküller Şekil 1.4'te gösterilmiştir (Marin 2016).



Şekil 1.4. Kronolojik sıraya göre farklı karbon yapıları

Karbon nanonoktalar ilk defa preparatif elektroforez ile tek duvarlı karbon nanotüplerin saflaştırılmasıyla (Xu *et al.* 2004) ve daha sonra grafitin lazer ablasyonu ile elde edilmiştir (Sun *et al.* 2006).

2004 yılından beri bu büyük karbon ailesinin bir üyesi de karbon kuantum noktalar (CQDs, C-nokta veya CDs) olmuştur. Yüzeyinde çok fazla fonksiyonel gruplar bulunan, karbonizasyon derecesi değiştirilebilen karbon materyali olan, karbon kuantum noktalar boyutları 10 nm'den küçük yeni karbon nanomateriyallerdir ve geleneksel organik boyalar ve yarı iletken kuantum noktalardan farklı pek çok özellik göstermektedir.

Karbon kuantum noktalar, çok farklı özelliklere sahip olmalarından dolayı son yıllarda çok fazla kullanım imkânı bulmuştur. Karbon noktalar optik ve kimyasal özelliklerinden dolayı çok büyük ilgi görmekte ve elektrokataliz, biyo-görüntüleme, kimyasal-sensör, biyo-sensör, nanomedikal, biyomolekül/ilaç salınımı, ışık saçan diyotlar, fotokatalizör olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir (Sun *et al.* 2012; Feng *et al.* 2013; Sun *et al.* 2014; Hu and Wang 2014). Bunlara ilaveten lazerler, optoelektronik aygıt gibi alanlarda da umut verici uygulamaları bulunmaktadır (Wang *et al.* 2011; Luo *et al.* 2012; Qu *et al.* 2012; Gu *et al.* 2013).

Karbon noktalar, geleneksel yarı iletken kuantum noktaların yerine aday gösterilmekte ve düşük toksisite, kimyasal inertlik, suda çözünbilme, biyouyumluluk, kolay fonksiyonelleştirme ve çeşitli fotolüminesans özelliklerinden dolayı gelecekte nano-arac uygulamalarında kullanım alanına sahip olacağı düşünülmektedir. Fotolüminesans karbon noktalar fotoağarmaya ve yüksek dirence sahip olması, modifiye edilebilir olması, kimyasal inertliği olması ve yüksek çözünürlüğe sahip olması açısından üstündür.

Karbon noktalar, farklı enerji seviyelerine sahip olmasından ve bant aralıkları boyut değiştirilerek modüle edilebildiğinden “yapay atomlar” olarak ta tanımlanırlar (Klimov 2007).

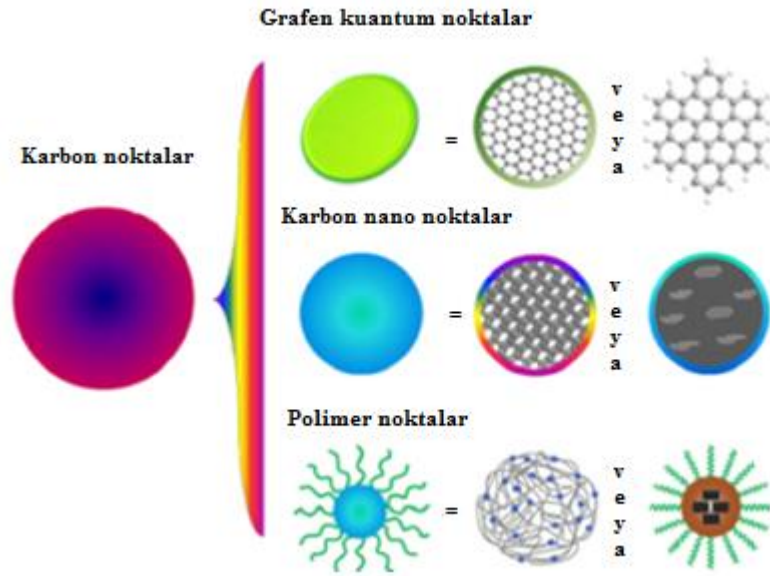
Karbon kuantum noktalar floresans özelliklerine bağlı olarak; *p*-CQDs, *t*-CQDs, *a*-CQDs, *cd*-CQDs, *cellulose*-CNDs (*c*-CNDs) and azot-doped CNDs (N-katkılı CNDs) olarak sınıflandırılmaktadır. Şekil 1.5'te farklı karbon kuantum noktaların tiplerine örnekler verilmiştir (Marin 2016).

Karbon Kuantum Nokta Tipleri	λ_{exc} (nm)	Kuantum Verimi (%)
p-CQDs	370	10
t-CQDs	365	-
a-CQDs	365	3
cd-CQDs	360	1,7
c-CNDs	370	19
N-katkılı CNDs	390	78

Şekil 1.5. Çeşitli karbon kuantum nokta tipleri

1.2.1. Karbon noktaların kimyasal özellikleri

Karbon noktaların kimyasal yapıları sentez şekillerine göre farklılıklar gösterebilir. Karbon nano noktalar her zaman küreseldir ve belirli kristal örgüye sahip karbon noktalar ve kristal örgüye sahip olmayan karbon nanopartiküllere ayrılırlar (Nie *et al.* 2014). Karbon noktaların, iç tabaka mesafesi ortalama 0,34 nm'dir. Karbon noktaların tamamı yüzeyinde kimyasal gruplar içerir. Yüzeydeki bu kimyasal grupları belirlemek için Fourier transform infrared (FTIR), X-ray fotoelektron spektroskopisi (XPS), nükleer manyetik rezonans (NMR), matriks destekli lazer desorpsiyon iyonizasyon-akış süresi (MALDI-TOF) ve elementel analiz teknikleri kullanılır (Tetsuka *et al.* 2012). Wang ve grubu, tarafından NMR ölçümlerinde karbon noktalarındaki C-atamları doymamış sp^3 karbon atomları ve konjuge sistemlerdeki sp^2 hibritleşmiş atomları tespit edilmiştir (Wang *et al.* 2011). Grafen kuantum noktalar (GQDs), polimer noktalar (PDs) ve karbon nanonoktalar (CNDs) gibi floresans karbon noktaların temsili gösterimleri Şekil 1.6'da verilmiştir (Song *et al.* 2014).



Şekil 1.6. Floresans karbon kuantum nokta türlerinin temsili gösterimi

Hibridizasyon, karbon iç merkezi ve yüzeydeki grupların arasındaki birlikte çalışan karbon noktaların floresans davranışlarında en önemli rolü oynar. Karbon noktalar, ticari olarak ulaşabilen CdSe/ZnS kuantum noktalarla (QD) performans olarak yarışmalıdır. Cd, Pb ve Hg gibi toksik metallerin fotovoltaiik ve biyolojik uygulamaları çevreye zarar verdiğinden dolayı bu metaller olmaksızın nanopartikül gelişimi önem teşkil etmektedir. Kuantum noktalar, yüksek kuantum verimi (%60 civarı) ve toksik olmayan, yanıp sönen düşük foto-ağarma ve yüksek fotostabiliteye sahiptir (Wang *et al.* 2010; Baker and Baker 2010).

1.2.2. Karbon noktaların optik özellikleri

Yapılarındaki çeşitliliğe rağmen, karbon noktalar absorpsiyon ve floresans açısından bazı belirli optik özelliklere sahiptir. Karbon noktalar, tipik olarak ultraviyole bölgede güçlü optik absorpsiyon gösterirler. Bu absorpsiyonda, spektrumun görünür bölgeye uzanan bir kuyruğu da vardır. Karbon noktalar görünür bölgede ayarlanabilir (tunable) emisyonlarından dolayı kuşkusuz en çok çalışılan fotoluminesans metaryalleridir.

Karbon noktalar, 230 ve 300 nm’de olmak üzere iki absorpsiyon pikine sahiptirler. Düşük dalgaboyunda gözlenen pikin aromatik C-C bağındaki $\pi-\pi^*$ etkileşiminden, yüksek dalgaboyundaki pikin ise C=O bağının veya diğer bağlı grupların $n-\pi^*$ geçişlerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Bağlı olan kimyasal gruplar UV-görünür bölgedeki absorpsiyonu arttırabilirler (Wang *et al.* 2014).

Karbon noktalar yüksek ışık stabilitesi, sürekli absorpsiyon spektrumu ve dar emisyon spektrumu gibi eşsiz lüminesans karakteristikler ve elektronik özellikler gösterirler (Brunchez *et al.* 1998). Karbon noktalar beyaz ışığı absorplar ve materyalin bant aralığına bağlı olarak birkaç saniye özel renklerini yayarlar (Bakalova *et al.* 2004; Deb *et al.* 2011).

Karbon noktaların emisyon spektrumları genellikle dalgaboyu skalasında kabaca simetriktir, emisyon piki geniştir ve organik boyaların emisyon spektrumları ile kıyaslandığında büyük Stokes kaymasına sahiptir. Emisyon pikinin pozisyonu her zaman uyarma dalgaboyuna bağlıdır (Yang *et al.* 2015).

Karbon genellikle siyah materyal olup düşük çözünürlük ve zayıf floresansa sahip olmasına rağmen, karbon temelli kuantum noktalar ise güçlü lüminesans ve iyi çözünürlüğe sahiptir (Zhao *et al.* 2008). Bundan dolayı karbon nanoışık (nanolamba) olarak ta adlandırılırlar (Baker and Baker 2010). Ayrıca, kemilüminesans ve elektrolüminesans özelliklerine sahip olmalarından dolayı; elektron donör ve akseptör olarak kullanılabilmeleri sensör, kataliz, optoelektronik alanında geniş potansiyele sahip olmalarını sağlar (Ramesh *et al.* 2014). Elektron donör-akseptör olarak karbon-temelli kuantum noktaların çok renkli (multirenk) emisyon yeteneği ve toksik olmaması onları canlılar üzerindeki bilimsel çalışmalar için uygun kılmaktadır.

İlginç şekilde karbon noktaların çoğu farklı üretim tekniklerine rağmen mavi ya da yeşil emisyon gösterir. Bu durum grafit kuantum noktalar için de geçerlidir (Sun *et al.* 2014). Karbon noktaların belirli fotolüminesans özelliği emisyon dalga boyu ve şiddetine

bağlıdır. Karbon noktaların fotoluminesans mekanizması hala araştırmacılar arasında tartışma konusu olup farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir (Cao *et al.* 2013). Bunlar;

1. Kuantum kuşatma etkisi veya konjuge pi-domain'ler ki bunlar karbon merkezi (core) tarafından belirlenir.
2. Yüzey state (hali); karbon iskeletinin hibritleşmesi ve bağlı grupların hibritleşmesine bağlıdır.
3. Moleküler state (hali): Yalnızca yüzeye veya karbon noktaların iç yüzeyine bağlı floresans moleküllerle belirlenir. Karbon noktaların iç yüzeyine bağlanma çapraz bağlayıcı-gelişmiş emisyon (CEE) etkisi ile gerçekleşir (Yang *et al.* 2015).

1.2.3. Karbon noktaların biyolojik toksisitesi

Karbon noktaların toksik olmayışı onların biyo-tabanlı uygulamalarından dolayı sıra dışı bir öneme sahiptir (Luo *et al.* 2013; Lin *et al.* 2014; Song *et al.* 2014). Son yıllarda, metal-temelli biyo-görüntüleme metodolojisi gelişmiş olup kadmiyum gibi toksik metallerin kullanımından dolayı toksisiteyle beraber değerlendirilir. Metal-tabanlı Karbon nokta ve grafen kuantum nokta ile karşılaştırıldığında toksik olmayan element karbondan oluşması, bu yapıları biyo-analitik uygulamalarda kullanışlı kılmaktadır. Kuantum noktalar, biyoloji bilimine entegre olabilecek ilk nanoteknolojilerden biridir (Chan and Nie 1998; Bruchez *et al.* 1998).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kandil isini yakarak elde edilen karbon nokta örneklerinin 415-615 nm dalgaboyu aralığında floresans emisyon spektrumuna sahip olduğu gözlenmiştir. Bu numunelerin, gün ışığında kahverengi, UV ışık altında sarı ışık yaydığı belirlenmiştir. Kandil isinden sentezlenen bu karbon nokta numuneleri için floresans kuantum verimi değeri %0,019 olarak bulunmuştur. (Mao *et al.* 2007).

Karbon kaynağı olarak karpuz kabuklarından yüksek tuz konsantrasyonunda basit filtrasyonu kullanarak kuantum verimi %7,1 olan floresans karbon nano nokta numunesi sentezlenmiştir. Floresans band maksimumunun uyarma dalgaboyuna bağlı olarak 490 nm'den 580 nm'ye kaydığı belirlenmiştir. Görünür bölgede soluk sarı, UV ışık altında ve geniş pH aralığında (pH=2-11) ise mavi renkte olduğu gözlenmiştir (Zhou *et al.* 2011).

Grafit oksit, lamba isi, iletken karbon siyahı nitrik asit içerisinde reflaks edilerek floresans karbon noktalar sentezlenmiştir. Grafit oksitten elde edilen karbon noktanın kuantum verimi en yüksek olup %1,15, mum kurumundan elde edilen numunenin kuantum verimi %0,51, lamba isinden elde edilen numunenin kuantum verimi %0,6 ve iletken karbon siyahından elde edilen numunenin kuantum verimi %0,65 olarak bulunmuştur (Zheng *et al.* 2011).

Hidrotermal metotla portakal suyunu kullanarak kuantum verimi %26 olan fotolüminesans karbon noktaları sentezlenmiştir. Karbon nano noktaların 288 nm'de geniş bir absorpsiyon bandına, 390 nm'de ise floresans bant maksimumuna sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen karbon nano noktaların floresans şiddetinin yüksek pH değerlerinde oldukça azaldığı, düşük pH değerlerinde ise bu azalmanın düşük olduğu, pH 4,8-8,7 arasında neredeyse değişmeden kaldığı ifade edilmiştir. Karbon nano noktaların sulu çözeltisinin gün ışığı altında sarı ve transparan fakat UV ışık altında yeşil renkte olduğu gözlemlenmiştir (Sahu *et al.* 2012).

Karbon kaynağı olarak mandalina kabuğu kullanılarak, hidrotermal metot ile kuantum verimi %6,9 olan suda çözülebilir floresans karbon nanopartiküller basit, ekonomik ve yeşil kimyaya uygun olarak sentezlenmiştir. Bu numunenin 280 nm’de güçlü bir absorpsiyon pikine ve 444 nm’de floresans pikine sahip olduğu gözlenmiştir. UV ışık altında mavi renkte olduğu görülmüştür. Zeta potansiyeli -20,9 mV olarak ölçülmüştür (Sun *et al.* 2012).

Soya sütünden hidrotermal metotla, oksijen indirgenmesi için elektrokataliz olarak kullanılan bifonksiyonel floresans azot-katkılanmış karbon nanopartikülleri sentezlenmiştir. Görünür bölgede sarı, UV ışık altında mavi renk olduğu gözlenmiştir. UV-Vis absorpsiyon spektrumunda 275 nm’de dar bir pik ve maksimum floresans emisyon pikinin 426 nm’de olduğu görülmüştür (Zhu *et al.* 2012).

Çilek meyvesinden hidrotermal metotla %6,88 azot içeren floresans azot-katkılanmış karbon nanopartikül sentezi %6,3 kuantum verimle, kolay ve maliyetsiz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan nanopartiküller 427 nm’de maksimum emisyon göstermiştir (Feng *et al.* 2013).

Biyogörüntüleme için ipek kozasından floresans karbon nano partikülleri sentezlenmiştir. UV-Vis absorpsiyon spekturumunda 278 nm’de bir pike sahip olduğu ve maksimum floresans pikinin ise 450 nm’de olduğu görülmüştür. UV ışık altında mavi-yeşil renk, gün ışığında ise solgun sarı ışık yaydığı gözlenmiştir. pH 1,89’dan 11,89’a değiştirildiğinde zeta potansiyel yükünün 5,37 mV’tan -28,1 mV’a yükseldiği belirlenmiştir (Huang *et al.* 2013).

Ticari olarak satılan jelatinden hidrotermal yöntem kullanılarak kuantum verimi %31,6 olan mavi fotoluminesans veren karbon nokta sentezlenmiştir. Elde edilen karbon nano noktaların UV-Vis absorpsiyon spektrumunda 250-290 nm aralığında geniş piki, floresans emisyon spektrumunda ise 430 nm’de geniş bir floresans piki olduğu gözlenmiştir. Gün ışığı altında renksiz, UV ışık altında parlak mavi renk yaydığı görülmüştür (Yang *et al.* 2013).

Hidrotermal metot kullanılarak portakal kabuklarından kuantum verimi %36 olan floresans karbon nokta sentezlenmiştir. Karbon nano yapılar UV-Vis absorpsiyon spektrumunda 268 nm'de zayıf bir absorpsiyon bandı, floresans spektrumunda ise 431 nm'de bir bant gözlenmiştir ve gün ışığında sarı, UV ışık altında mavi renk yaydığı görülmüştür. (Imae and Prasannan 2013).

Sarı muz kabuklarından herhangi bir kimyasal kullanmadan mikrodalga yöntemi kullanılarak floresans karbon nano nokta numuneleri sentezlenmiştir. Bu numuneler için yapılan optiksel çalışmalarda 270 nm'de absorpsiyon ve 462 nm'de floresans gösterdiği belirlenmiştir. UV ışık altında mavi renkte olduğu gözlenmiştir (Ramesh *et al.* 2014).

Geniş spektrumlu antibiyotik olan ciproflaxacin hidroklorürü taşımada moleküler araç olarak kullanmak için; mikrodalga yardımıyla parlak karbon noktaları arap sakızı bitkisi kullanılarak sentezlenmiştir. Sentezlenen karbon noktaları fotofiziksel olarak karakterize etmek için UV-Vis absorpsiyon ve emisyon spektrumları alınmış ve 243 nm'de keskin pik ve 267 nm'de omuz şeklinde olmak üzere iki absorpsiyon bandının ve 472 nm'de floresans bandının bulunduğu belirlenmiştir. UV ışık altında yeşil renkte olduğu görülmüştür (Thakur *et al.* 2014).

Baldan yola çıkarak kuantum verimi %19,8 olan karbon nokta yapıları sentezlenmiştir. UV-Vis absorpsiyon spektrumunda 278 nm'de bir pik, floresans spektrumunda 420 nm'de bir pik gözlenmiştir. Gün ışığı altında transparan iken UV ışık altında mavi renkte olduğu görülmüştür (Yang *et al.* 2014).

Ticari olarak satılan süttten, hidrotermal metot kullanılarak, kuantum verimi %12 olan N-katkılı karbon nano nokta yapıları sentezlenmiştir. N-katkılı karbon nokta yapılarının 280 nm'de güçlü bir absorpsiyon piki verdiği, 454 nm'de ise floresans gösterdiği bulunmuştur. Karbon nano nokta yapının zeta potansiyeli -20,6 mV bulunmuştur. Gün ışığında sarı renkte, UV ışık altında parlak mavi renkte olduğu görülmüştür (Zhou and Wang 2014).

Hidrotermal metot ile kavun kabuklarından elde edilen N- katkılı karbon nokta yapıları, 280 nm bant maksimumunda absorpsiyon ve 450-550 nm arasında güçlü bir floresans bant maksimumu ile optiksel olarak karakterize edilmiştir. Gün ışığı altında parlak sarı renkte iken, UV ışık altında parlak mavi renkte ve kuantum veriminin %7,51 olduğu belirlenmiştir (Feng *et al.* 2015).

Karbon kaynağı olarak aloe bitkisi kullanılarak hidrotermal metot ile suda çözülebilir yüksek floresans özelliğe sahip karbon nokta sentezi gerçekleştirilmiştir. UV-Vis absorpsiyon ölçümü ile 278 nm’de bir absorpsiyon piki ve emisyon spektrumu ile de 503 nm’de bir floresans piki olduğu gözlenmiştir. Gün ışığında soluk sarı renkte olup UV altında parlak mavi renk görülmüştür ve kuantum verimi %10,37 olarak hesaplanmıştır (Liao *et al.* 2015).

Yer fıstığı kabuğunu piroliz ederek, kuantum verimi %9,91 olan floresans karbon nokta yapıları sentezlenmiştir. 440 nm’de şiddetli bir floresans piki gözlenmiştir. Yaşam ömrü 2,62 ns olarak bulunmuştur. Gün ışığında açık yeşil, UV ışık altında mavi renkte olduğu gözlenmiştir (Xue *et al.* 2016).

Karbon kaynağı olarak ipek böceği kralını kullanarak mikrodalga şartlarında herhangi bir kimyasal kullanmadan karbon nokta yapıları sentezlenmiştir. Bu yapıların 220 nm’de keskin bir absorpsiyon piki ve 365 nm’de bir floresans pikine sahip olduğu alınan ölçümlerle belirlenmiştir. Kuantum verimi %46 olarak bulunmuştur (Wang *et al.* 2016).

3. MATERYAL ve YÖNTEMLER

3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan kırmızı kuru soğan marketten, saf su bölümümüzden temin edilmiştir.

3.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar

Deneysel çalışmalar esnasında kullanılan aletler aşağıda verilmiştir.

Time-Resolved

Spektroflorofotometre : PTI TM3 Time Master Spectrofluorophotometer

Spektrofotometre : Perkin Elmer Lambda 35 UV/VIS Spectrometer

Spektroflorofotometre : Shimadzu RF-5301 PC Spectrofluorophotometer

Saf su cihazı : GFL 2004

Ultrasonik Karıştırıcı : Bandelin Sonorex

Otomatik pipetler : Socorex

Zeta Potansiyel Cihazı : Malvern Instruments Zetasizer Nano Series

Otoklav : HVA-85-Hirayama

3.3. Numunelerin Hazırlanması

Sentez için kırmızı renkli olan soğanlar yerel pazardan temin edildi. Soğanlar kabuklarıyla birlikte rondodan geçirildi. 50 gram kırmızı soğan sıvı azot ile birlikte dövüldü ve 50 ml su ilavesi ile 8 saat 133°C otoklavda bekletildi, sonrasında otoklavdan alınan madde süzülüp, 0,22 µm kalınlığındaki membrandan geçirilerek stok çözeltileri (50g/ml) hazırlandı.

$$\tau_f = \frac{1}{k_{IC} + k_{ISC} + k_r} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

τ_f ; floresans yaşam ömrü

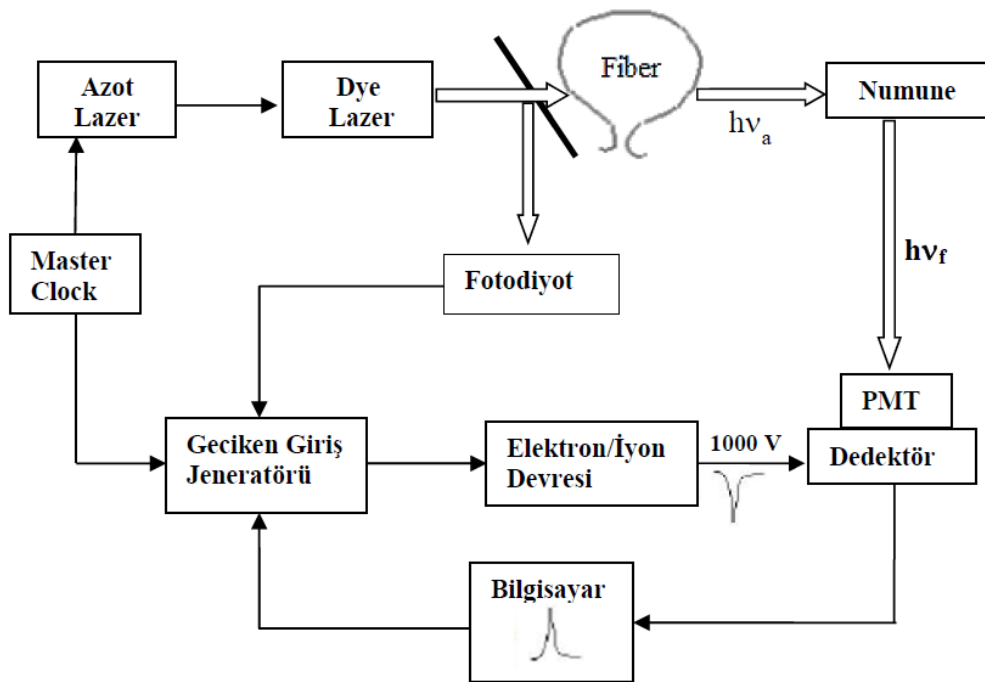
k_{IC} ; iç dönüşüm olayının hız sabiti

k_{ISC} ; sistemler arası geçiş olayının hız sabiti

k_r ; radyasyonlu geçişler için hız sabitidir.

Floresans yaşam ömrü ölçümlerinde çeşitli metotlar kullanılır. Bunlardan ikisi puls ve faz-modulasyon metotlarıdır. Puls metodunda numune kısa süreli puls ile uyarılır ve zamana bağlı olarak floresans durulması ölçülür. Ölçümlerimizde de puls metodu esas olmak üzere stroboskopik dedektörle çalışan Time Master Laser sistemi kullanılmıştır. PTI yaşam ömrü ölçüm cihazları, Stroboskopik Tekniği kullanan cihazlardır. Bu teknik diğer alternatif metotlara kıyasla daha yeni, gelişmiş, ucuz ve kolaydır. Stroboskopik teknik bir zaman-alan (domain) tekniğidir. Bu teknikle floresans durulma eğrileri (yani zamanın fonksiyonu olarak floresans şiddeti) doğrudan ölçülür. Ham veriler incelenerek belirli bir nitel ayarlama mekanizması oluşturulabilir ve uygun bir fit fonksiyonu seçilebilir.

Bu teknikte puls ışık kaynağı (lazer ya da LED) kullanılır ve puls sonrası farklı gecikme zamanlarındaki floresans şiddeti ölçülür. Sonuç olarak bir floresans durulma eğrisi toplanır (Bozkurt 2013). PTI, azot ve dye lazerlere dayalı Laser Strobe sisteminin çalışma prensibi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



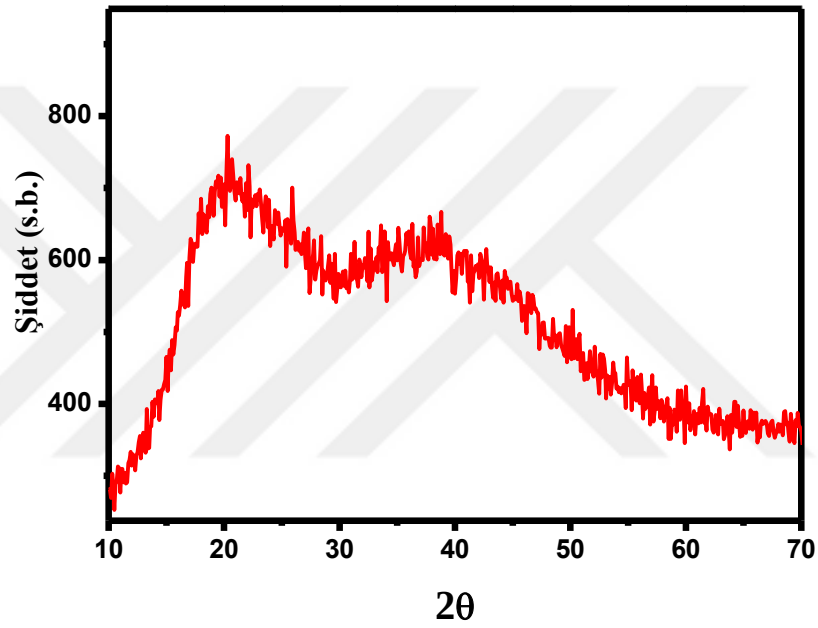
Şekil 3.2. Puls tekniğinin şematik gösterimi (Bozkurt 2013)

3.6. Zeta Potansiyel ve Partikül Dağılımı

Zetasizer nano cihazı ışık saçılımı ile partiküllerin Brownian hareketlerini ölçmektedir. Brownian hareketleri sıvı içerisindeki partiküllerin rastgele hareket etmeleri olarak tanımlanmaktadır. Çalışmamızda partikül boyutu için hacme dayalı hesaplanan sonuçlar kullanılarak, partikülün şekli küre kabul edilip tane boyutu hidrodinamik çap olarak verilmiştir. Ölçümler 25°C sıcaklıkta, üç kez tekrarlanmıştır. Sonuçlar ölçümlerin ortalaması şeklinde verilmiştir (Terzi 2013).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Kırmızı renkli soğanlardan elde edilen numunelerde, karbon noktaların varlığını kanıtlamak için karakterizasyon çalışmaları yapıldı. Bu amaçla XRD spektrumu alındı (Şekil 4.1).

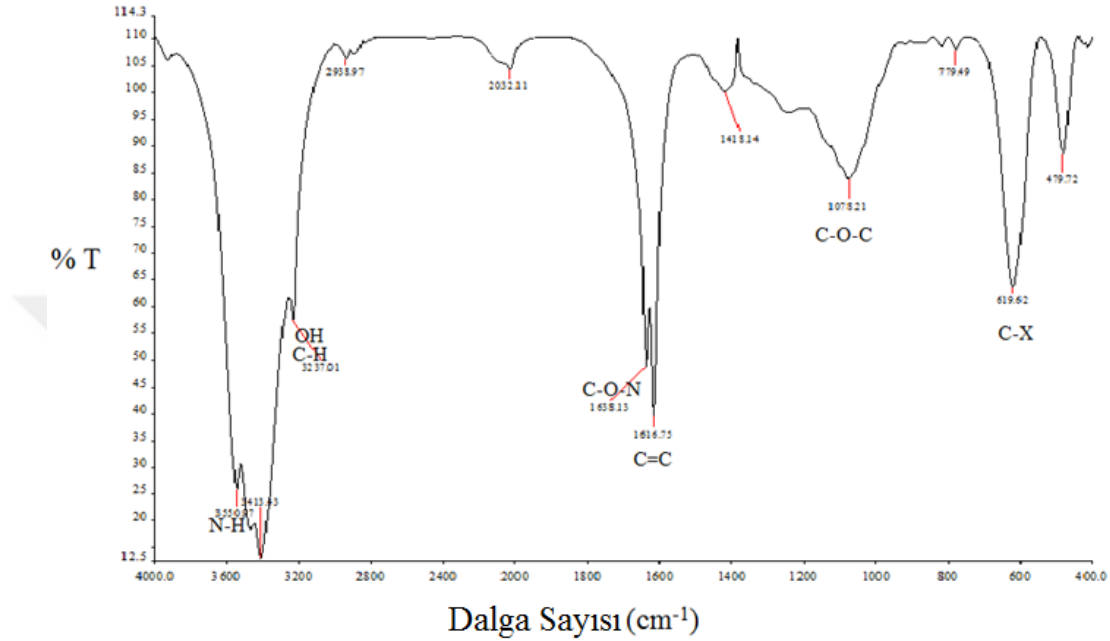


Şekil 4.1. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin XRD spektrumu

Şekil 4.1’te görüldüğü gibi, alınan XRD spektrumunda oldukça sıradan biçimde amorf karbon dizilimiyle ilgili olarak $\sim 20^\circ$ ve $\sim 38^\circ$ de iki geniş pik bulunmaktadır (Bhunja *et al.* 2013). Merkezi geniş bir pikin görülmesi karbon nokta yapısının varlığını gösteren önemli bir spektral veridir. Karbon noktaların zayıf kristal yapısı, daha fazla oksijen içeren fonksiyonel grupların varlığını göstermektedir (Hasiao Wei 2009).

Karbon nokta yüzeyindeki fonksiyonel grupları belirlenmek için FTIR analizi yapıldı. Bu amaçla hazırlanan karbon nokta çözeltisinin tamamen kuruması için etüvde yaklaşık

4 gün bekletilerek KBr ile peletler oluşturuldu ve elde edilen örneklerin FTIR ölçümleri alındı. Karbon nokta yapısı için alınan FTIR spektrumu Şekil 4.2’de verilmiştir.

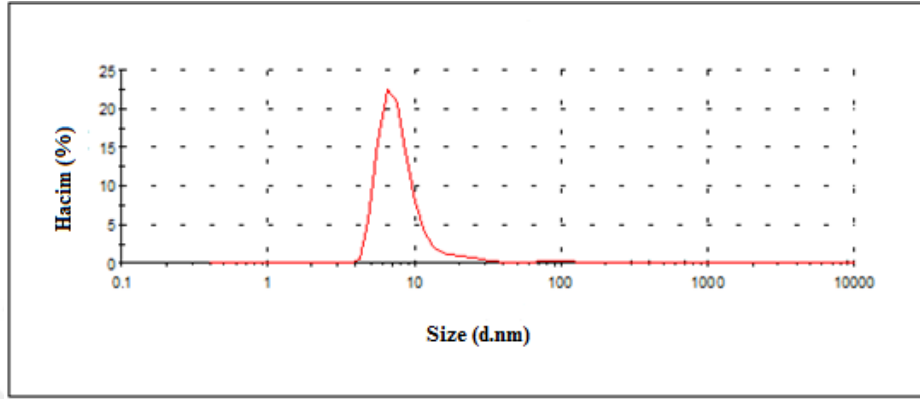


Şekil 4.2. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin FTIR spektrumu.

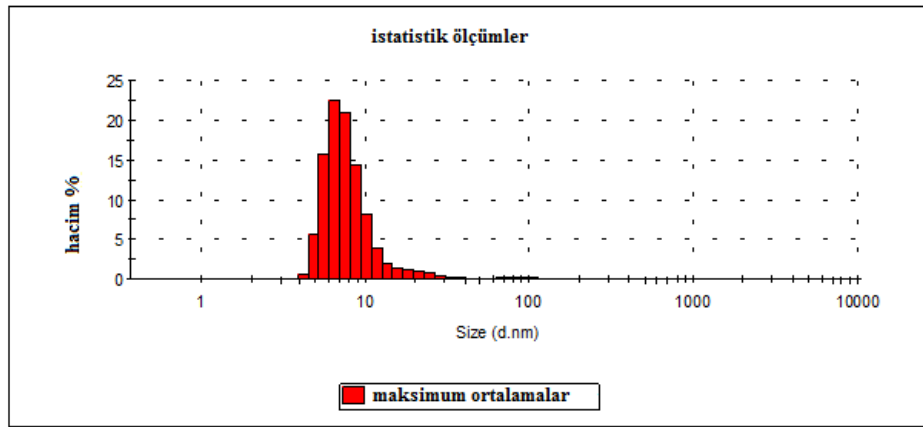
Şekil 4.2’de görüldüğü gibi 3237-3550 cm^{-1} arasında O-H ve N-H, 3237 cm^{-1} ’de aromatik C-H, 1638 cm^{-1} ’de C-O-N, 1616 cm^{-1} ’de C=C, 1078 cm^{-1} ’de C-O-C ve 619 cm^{-1} ’de ise C-X gerilme titreşimleri gözlenmiştir. Bu gerilme titreşimlerinden, karbon noktaların yüzeyinde –OH, –NH ve C-X gruplarının olduğu görülmekte olup su içerisinde çözünürlüğünün de yüksek olması ile biyomolekülleri bağlanması için bağlayıcı (linker) olarak kullanılabileceği belirlenmiştir (Huang *et al.* 2013; Lawrence *et al.* 2014; Vikneswaran *et al.* 2014).

250 µl karbon nokta/4950 µl saf su olacak şekilde hazırlanan ve pH değeri 4,85 olarak ölçülen karbon nokta numunelerinin ortalama partikül boyutunu belirlemek için yapılan ölçümlere ait sonuçlar Şekil 4.3 ve 4.4’te verilmiştir. Parafilm referans alınarak (karbon içeriği en fazla olan referans olduğu için seçilmiştir) yapılan ölçümde partikül boyutu

8,21 nm olarak belirlenmiştir. Partikül boyutu genellikle 10 nm altında olduğundan bulunan bu değer literatürle oldukça uyumludur (Hu and Wang 2014).



Şekil 4.3. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunelerinin partikül ölçüm grafiği

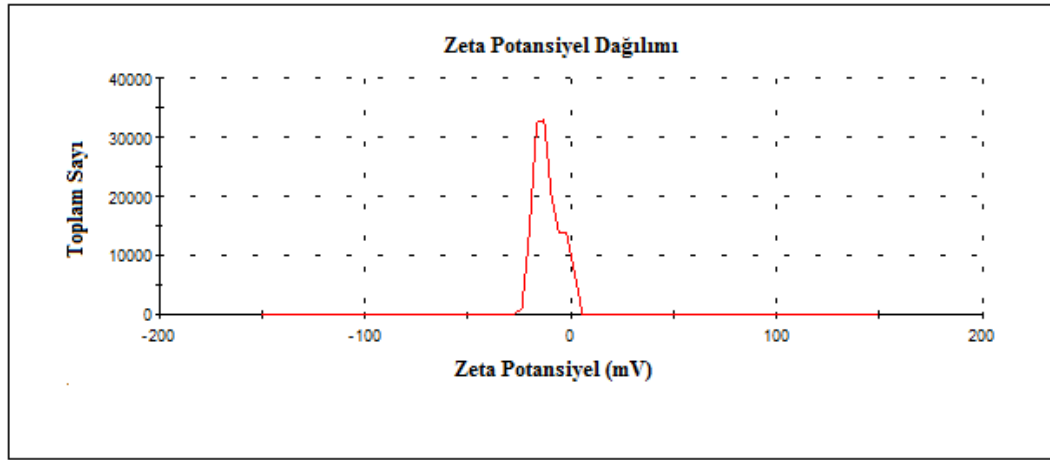


Şekil 4.4. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunelerinin partikül ölçümü istatistikleri

Zeta potansiyeli, molekülün etrafındaki elektriksel çift tabaka sonucu oluşan yüklerden meydana gelmektedir. Elektriksel çift tabaka taneciklerin birbirini itmesine sebep olur ve böylece taneciklerin bir araya gelerek çökmesini önler. Bu yüzden zeta potansiyelinin yüksek olması sistemin kararlılığına önemli katkı sağlamaktadır (Terzi 2013).

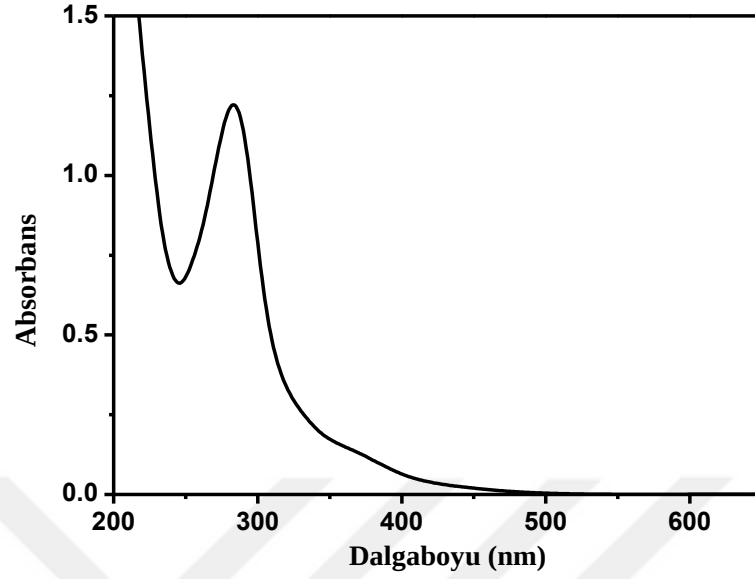
Hazırlanan numunenin yüzey yüklerinin belirlenmesi zeta potansiyelinin hesaplanması ile gerçekleştirilmiştir. Zeta potansiyel değeri kararlı emülsiyon ve süspansiyon ölçümü için önem taşımaktadır. Zeta potansiyelinin +25 mV'un üstünde veya -25 mV'un altında bulunduğu değerler emülsiyon ve süspansiyonların kararlı olduğu bölgeyi göstermektedir. Eğer bu değerler arasında değil ise kararsızdır ve böylelikle kolloidal sistemler topaklaşarak çökelme eğilimindedir (Huang *et al.* 2013).

Karbon nokta yapının (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su-pH=4,85) zeta potansiyel değerleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Karbon nokta yapının yüzey yükü, parafilm referans alınarak yapılan ölçümde -11,4 mV olarak bulunmuştur. Bu değer sentezlenen karbon nokta yapılarının kolloidal yapıda olduğunu göstermektedir. Karbon nokta yapıların yüzeyinde NH₂ ve OH gruplarından dolayı negatif yük oluşmaktadır (Sun *et al.* 2012).



Şekil 4.5. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunelerinin zeta potansiyeli dağılım grafiği

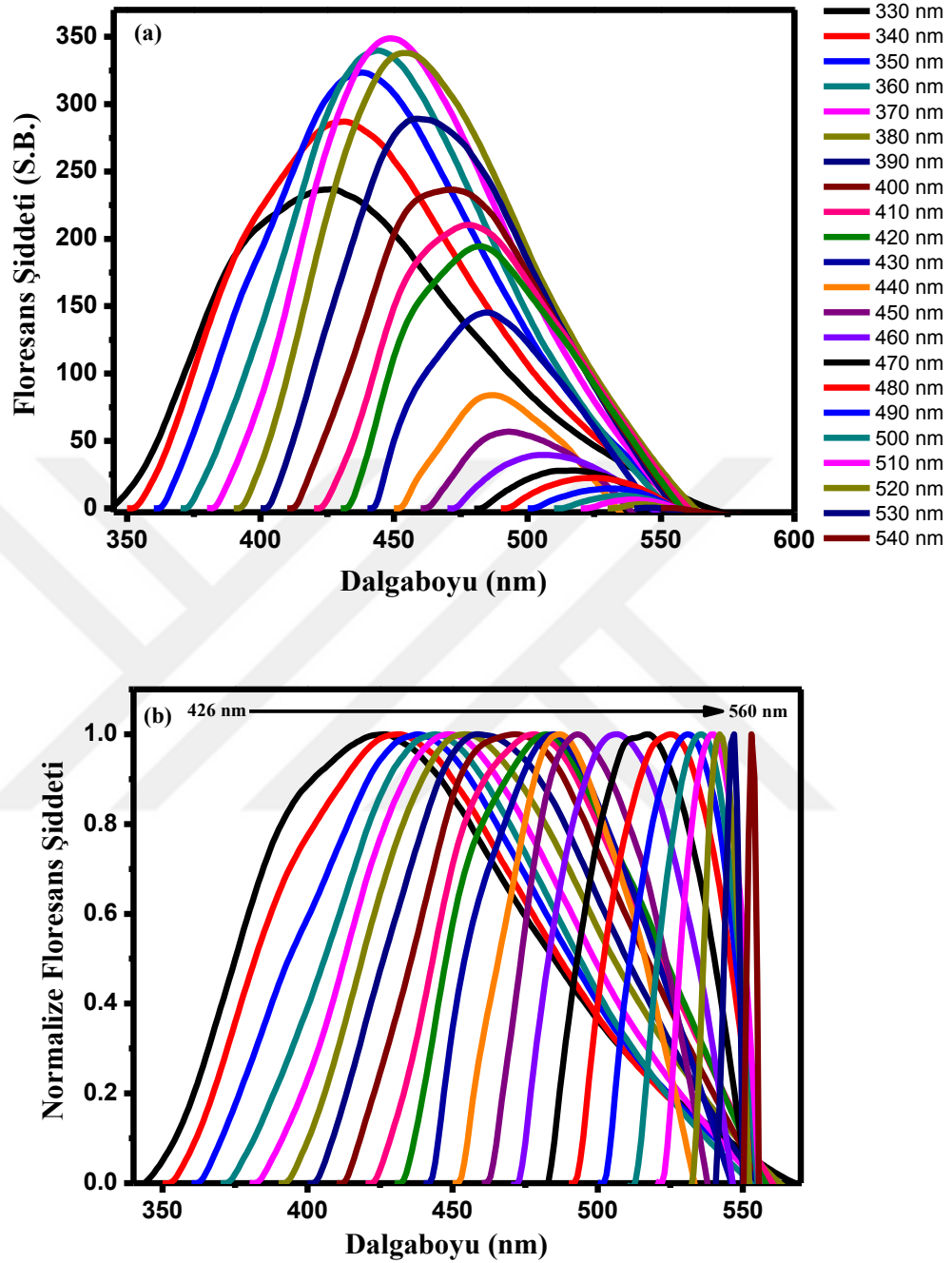
XRD ve FTIR ölçümleri ile yapısı aydınlatılan ve zeta potansiyeli ile boyutları ve yüzey yükü belirlenen karbon nokta numunesinin (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su-pH=4,85) optiksel karakterizasyonu için oda sıcaklığında absorpsiyon spektrumu alınmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin absorpsiyon spektrumu

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi 280 nm'de π - π^* geçişlerinden kaynaklanan karakteristik karbon nokta piki gözlenmiştir. Bu durum elde edilen numunelerde (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su-pH=4,85) karbon noktanın varlığını desteklemektedir (Yu *et al.* 2005).

Absorpsiyon spektrumu belirlenen karbon nokta örneği için yine oda sıcaklığında (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su-pH=4,85) farklı uyarma dalgaboylarında floresans ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.7).

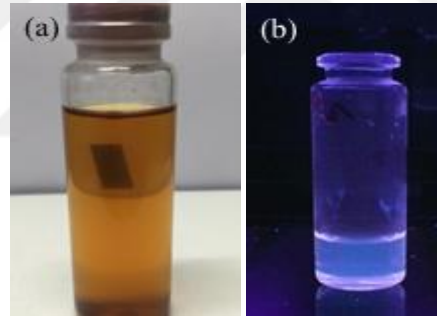


Şekil 4.7. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı dalga boylarındaki floresans spektrumları (a) ham (b) normalize.

Karbon noktaların (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su-pH=4,85) su içerisinde farklı dalga boylarındaki floresans spektrumunu Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Uyarma dalgaboyunun 330 nm’den 540 nm’ye (10’ar nm) kademeli olarak artırılmasıyla, floresans bant maksimumlarında 426 nm’den 560 nm’ye kırmızıya kaymalar

gözlenmiştir (Şekil 4.7b). Uyarma dalga boyları 340 nm'den 380 nm'ye artırıldığında floresans şiddetinde sürekli olarak bir artış, 390 nm ve sonrasında ise floresans şiddetinde bir azalma olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, elde edilen karbon nokta için en şiddetli floresans pikinin 446 nm civarında olduğu görülmektedir. Uyarma dalga boyu değiştirilerek floresans özelliğinin ayarlanabilir olması, partiküllerin yüzeydeki kusurları ve farklı boyutlardaki partiküllerin optik seçiminden kaynaklanabildiği bilinmektedir (Aslandaş *et al.* 2015).

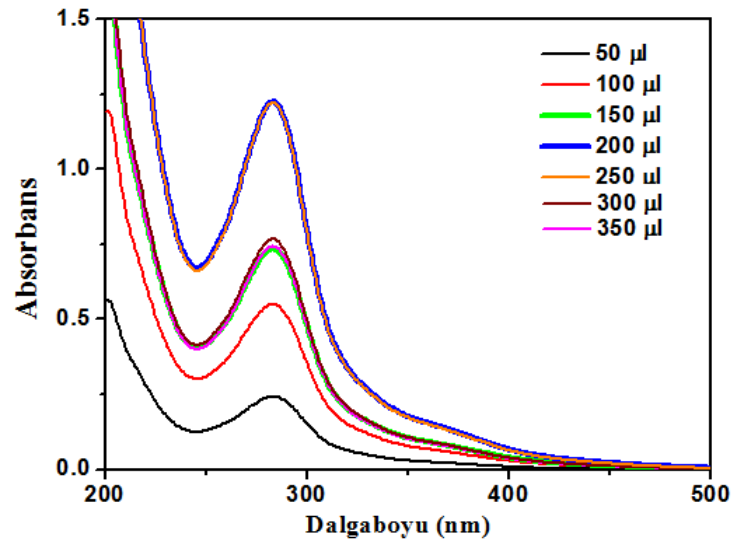
Elde edilen karbon noktaların (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su-pH=4,85) sulu çözeltilerinin gün ışığı altında ve UV ışık altındaki görüntüleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Karbon noktaların gün ışığında solgun sarı renkte ve UV ışığı altında parlak mavi floresans yaydığı, ayrıca karbon noktaların gün ışığında saydam olduğu görülmektedir.



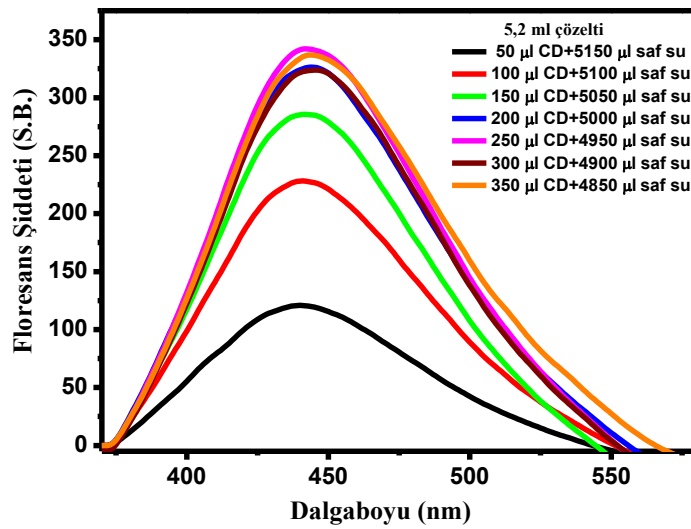
Şekil 4.8. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin (a) gün ışığı (b) UV ışık altındaki görüntüsü.

Absorpsiyon ve floresans ölçümleri alınan karbon nokta numunesi (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su-pH=4,85) için fotofiziksel parametreler de hesaplandı. 350 nm uyarma dalga boyunda oda sıcaklığında alınan floresans spektrumuna ait alan kullanılarak (3.1) eşitliği yardımıyla karbon nokta numunesinin floresans kuantum verimi (Φ) %23 ve floresans yaşam ömrü (τ) 2,582 ns olarak belirlenmiştir. Hesaplanan kuantum verimi değeri, son yıllarda literatürde yer alan farklı kaynaklardan elde edilen karbon nokta yapılarına kıyasla yüksek bir kuantum verimi ile yeni bir kaynaktan karbon nokta numunesi elde edildiğini göstermiştir (Mao *et al.* 2007; Zheng *et al.* 2011; Xue *et al.* 2016).

Absorpsiyon ve floresans spektrumları ile optik özellikleri belirlenen karbon kuantum nokta numunesi için spektral özellikler üzerine konsantrasyonun etkisi incelenmiştir. Bu amaçla hazırlanan stok çözeltiden 50-300 μl arasında değişen miktarlarda alınarak elde edilen yeni konsantrasyonlardaki çözeltilerin oda sıcaklığında ($\text{pH}=4,85$) absorpsiyon ve floresans ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10).



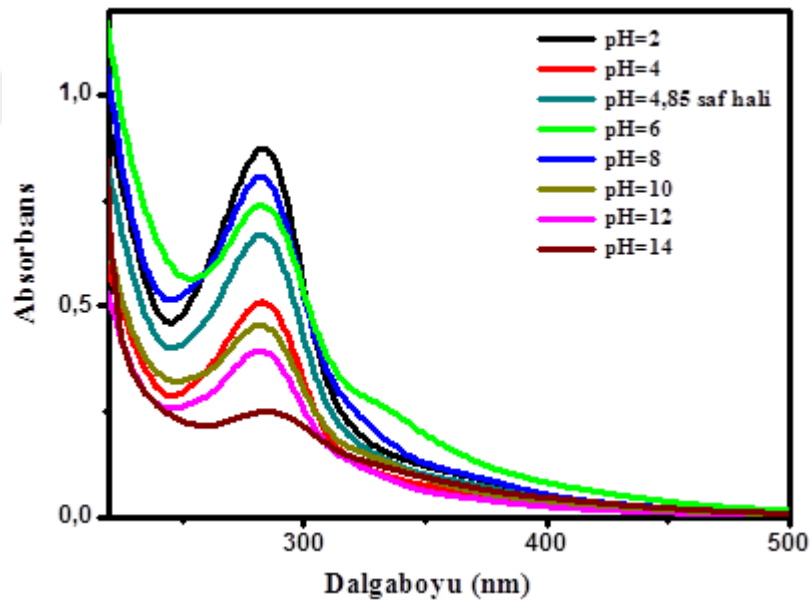
Şekil 4.9. Farklı konsantrasyonlardaki karbon nokta yapısının saf sudaki absorpsiyon spektrumları



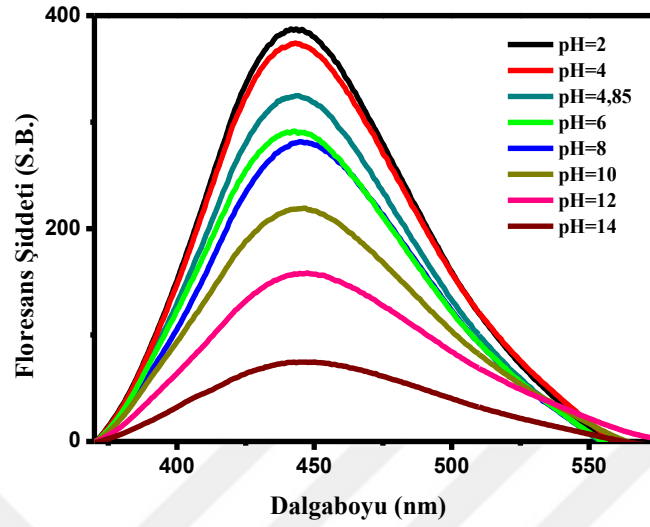
Şekil 4.10. Farklı konsantrasyonlardaki karbon nokta yapısının saf sudaki floresans spektrumları ($\lambda_{\text{exc}} = 360 \text{ nm}$)

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi tüm karbon nokta çözeltileri yaklaşık 440 nm civarında floresans göstermektedir. Ayrıca, karbon nokta miktarı arttıkça genel olarak floresans şiddetinin de arttığı en iyi floresansın 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su çözeltisinde elde edildiği gözlenmiştir.

Konsantrasyon çalışması sonucunda en iyi floresans özellik gösteren çözeltinin 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su karışımı olduğu belirlendikten sonra sistem üzerine pH’nın etkisi tartışılmıştır. Asidik pH değerleri 0,1 M HCl çözeltisi ve bazik pH değerleri ise 0,1 M NaOH çözeltisi ile ayarlanmıştır. Bu ayarlamalar yapılmadan önce çözeltinin pH’sı 4,85 olarak ölçülmüştür. Farklı pH aralıklarında (pH=2-14) çözelti için absorpsiyon ve floresans ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.11 ve 4.12).

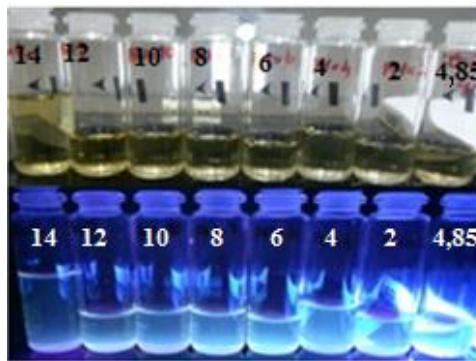


Şekil 4.11. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı pH değerlerindeki absorpsiyon spektrumları.



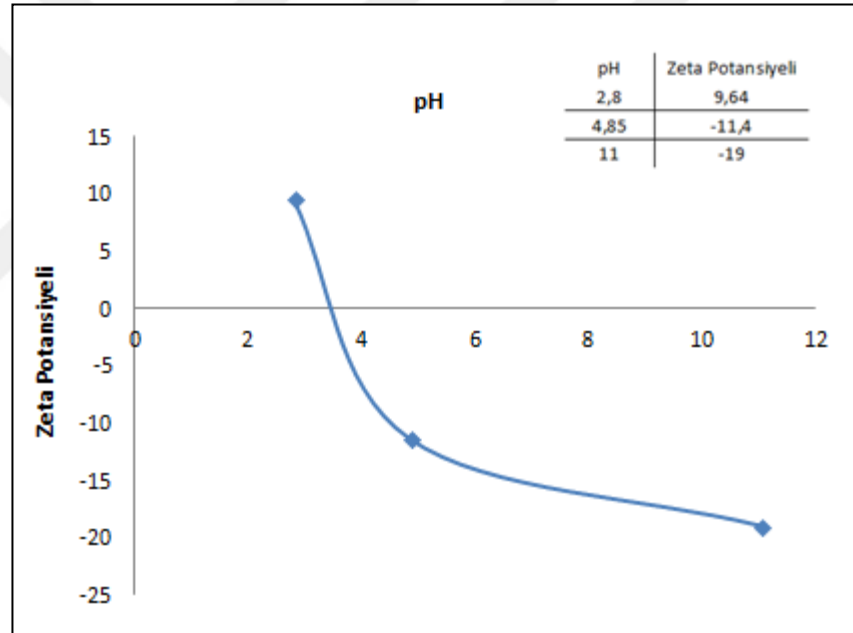
Şekil 4.12. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı pH değerlerindeki floresans spektrumları ($\lambda_{exc}=360$ nm).

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de görüldüğü gibi kırmızı soğandan elde edilen karbon nokta yapısıyla hazırlanan çözeltilerin asidik pH değerlerinde (pH=2-6) hem absorpsiyon hem de floresans şiddeti yüksekken bazik pH’lara doğru gidildikçe şiddetlerde azalmalar gözlenmiştir. Karbon nokta numunesinin fizyolojik pH’ya yakın değerlerde (pH=6) iyi bir foto stabiliteye sahip olması ve yüksek floresans emisyon göstermesi biyo-görüntüleme uygulamalarında kullanılabilişliğini göstermektedir (Aslandaş *et al.* 2015). Farklı pH aralıklarında (pH=2-14) hazırlanan çözeltilerin gün ışığı ve UV ışık altındaki görüntüleri Şekil 4.13’te verilmiştir.



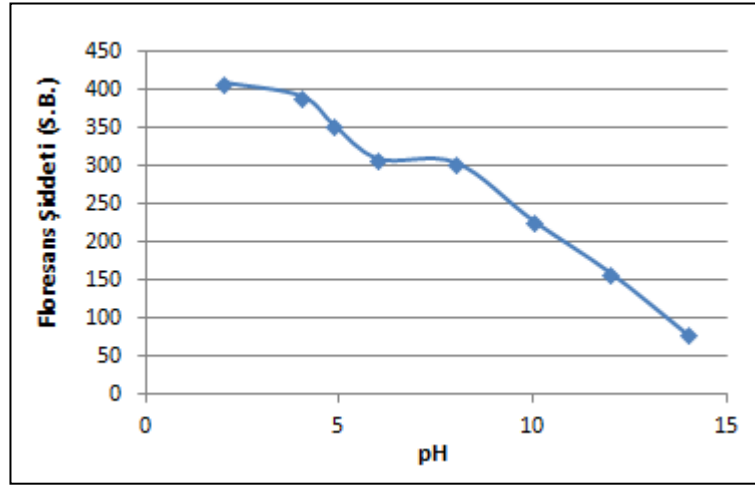
Şekil 4.13. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı pH değerlerinde günışığı (üstte) ve UV ışık (altta) altındaki görüntüleri

250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin zeta potansiyeline pH'nın etkisi de tartışılmıştır (Şekil 4.14). pH 2,80'den 11,00'e değiştirildiğinde zeta potansiyel yükünün 9,64 mV'tan -19 mV'a yükseldiği belirlenmiştir. İzoelektronik pH yüzey yüklerinin sıfır olduğu değer olup Şekil 4.14 'e bakıldığında karbon nokta numunesi için izoelektronik pH değerinin 3,76 olduğu bulunmuştur. pH=3,76'dan daha düşük değerlerde karbon noktanın yüzeyinin pozitif, pH=3,76'dan daha büyük değerlerde ise karbon nokta yapının yüzeyinin negatif yüklü olduğu tespit edilmiştir. Bu durum zeta potansiyeli değişimi ile karbon nokta yapıda protonlama ve deprotonlama mekanizmasının var olduğunu göstermiştir (Huang *et al.* 2013).



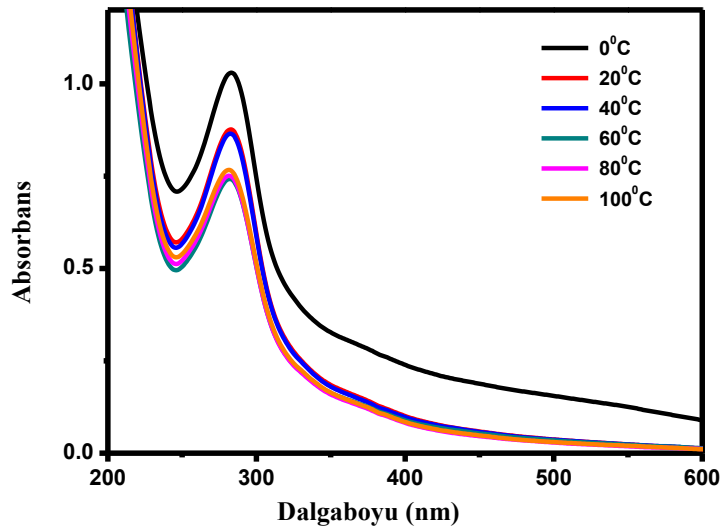
Şekil 4.14. Zeta potansiyeli ile pH arasındaki ilişki

Karbon nokta yapının (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su) pH (2,0-14,0) değerlerine karşı floresans şiddetindeki değişimde incelendi ve Şekil 4.15'te görüldüğü gibi pH 'ya bağlı olarak floresans şiddetinin azaldığı belirlenmiştir. Bu durum karbon nokta yapısının yüzeyindeki fonksiyonel grupların deprotonlanmasından kaynaklanmıştır (Huang *et al.* 2013).

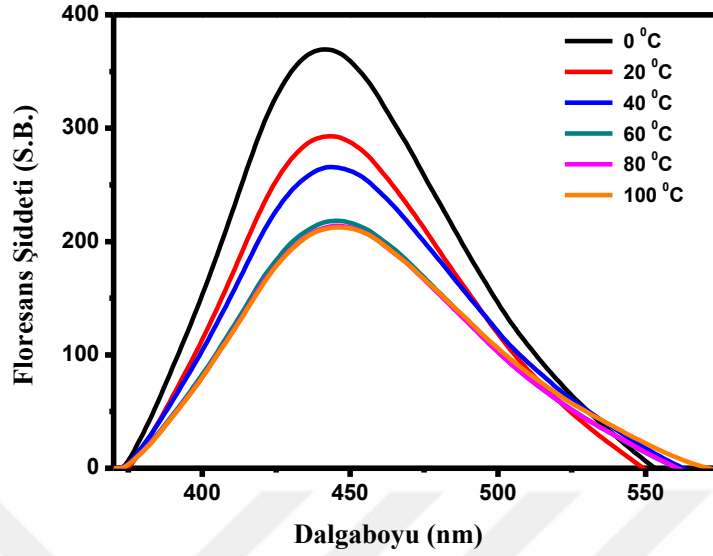


Şekil 4.15. Karbon noktanın floresans şiddetiyle pH ilişkisi

En iyi floresans özellik gösteren 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su karışımı üzerine sıcaklığın etkisi de tartışılmıştır. Bu amaçla farklı sıcaklık aralıklarında (0-100°C) çözelti için absorpsiyon ve floresans ölçümleri alınmıştır (Şekil 4.16 ve 4.17).



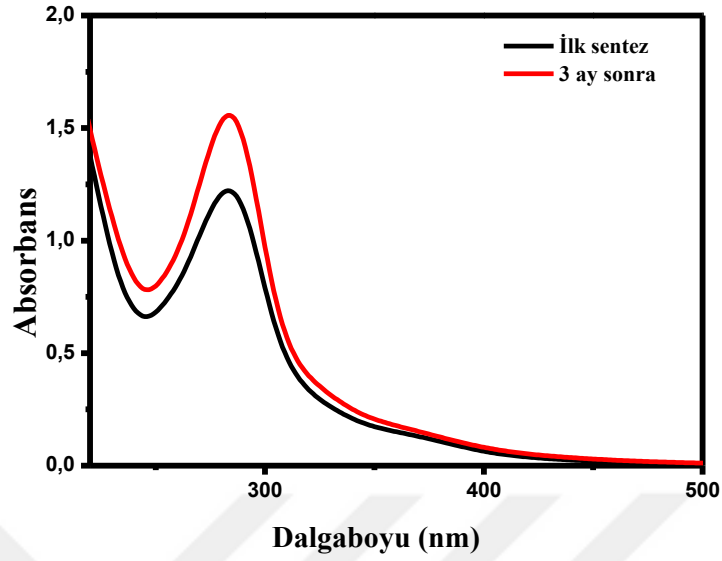
Şekil 4.16. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı sıcaklıklardaki absorpsiyon spektrumları.



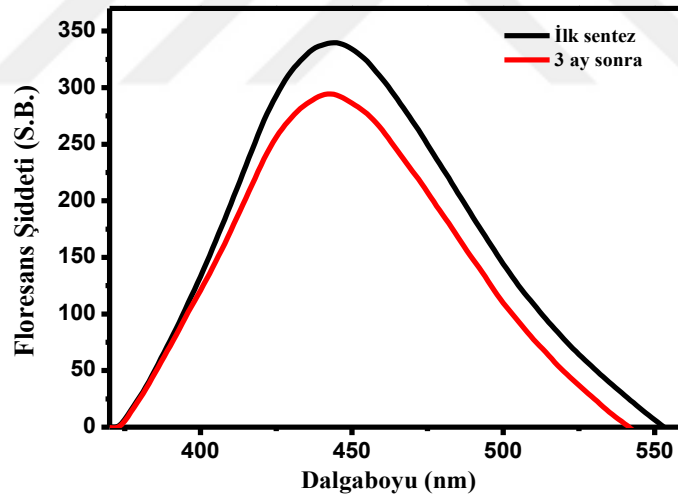
Şekil 4.17. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin farklı sıcaklıklardaki floresans spektrumları ($\lambda_{exc}= 360$ nm).

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi karbon nokta çözeltisinin absorpsiyon spektrumu sıcaklık değişiminden oldukça az oranda etkilenmiştir. Bu durum karbon noktanın geniş bir sıcaklık aralığında dayanıklılığını göstermektedir. Tam tersi, karbon nokta çözeltisinin floresans şiddeti sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır (Şekil 4.17). Bu durumun, sıcaklığın artmasıyla ışımasız geçişlerin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Yu *et al.* 2005).

Elde edilen karbon nokta numunesinin kararlılığını belirlemek amacıyla 18°C sıcaklıkta üç ay bekletilen numune için absorpsiyon ve floresans ölçümleri alındı (Şekil 4.18 ve 4.19).



Şekil 4.18. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin ilk ve 3 ay sonraki absorpsiyon spektrumu.



Şekil 4.19. 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su içeren karbon nokta numunesinin ilk ve 3 ay sonraki floresans spektrumu ($\lambda_{exc} = 360$ nm).

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da absorpsiyon ve floresans spektrumlarında, kırmızı soğandan elde edilen karbon nokta numuneleri 3 ay gibi uzun bir süre bekletilmesine rağmen çok büyük bir değişim olmadığı görülmüştür. Bu durum ile elde edilen karbon noktaların oldukça kararlı olduğu ve bu özellikleri ile uzun sürede gerçekleştirilmesi gereken çalışmalara büyük fayda sağlayacağı belirlenmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, doğal bir bitki olan kırmızı soğandan oldukça ekonomik ve pratik bir yolla karbon nokta numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen bu numunelerde karbon nokta yapısının varlığını kanıtlamak için XRD ve FTIR spektrumları alınmış ve bu spektrumlardan numunelerin karbon noktalar olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, bu numunelerin yüzey yükleri ve ortalama parçacık boyutları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlarla, karbon nokta numunelerinin ortalama parçacık boyutlarının 8,21 nm ve yüzey yüklerinin ise -11,4 mV olduğu bulunmuştur. pH'ya bağlı olarak zeta potansiyelinin değişimi incelenmiş ve karbon nokta yapının (250 µl karbon nokta/4950 µl saf su) izoelektronik pH değeri 3,76 olarak bulunmuştur. Yapısı kanıtlanan bu numunelerin fotofiziksel özellikleri, UV-görünür bölge absorpsiyon, durgun-hal ve zamana bağlı floresans spektroskopisi teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Absorpsiyon spektrumunda, karbon nokta yapının varlığını doğrulayan 280 nm'de pik gözlenmiştir. Farklı dalgalarda uyarma yapılarak floresans ölçümleri alınmış ve numunenin floresans bant maksimumunun ve şiddetinin uyarma dalga boyuna bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Karbon nokta numunesi için floresans kuantum verimi ve yaşam ömrü gibi fotofiziksel parametreler de hesaplanmıştır. Daha sonra karbon nokta numunelerinin absorpsiyon ve floresans spektrumlarına konsantrasyonun etkisi incelenmiştir. En iyi çözelti konsantrasyonunun 250 µl karbon nokta/4950 µl saf su karışımı olduğu bulunmuştur. Bu konsantrasyon kullanılarak numunenin fotofiziksel özellikleri üzerine pH ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. pH=2-14 aralığında ölçümler alınmış ve pH değeri arttıkça karbon nokta çözeltisinin hem absorpsiyon hem de floresans şiddetinin düştüğü belirlenmiştir. Fizyolojik pH'ya yakın değerlerde yüksek floresans özellik göstermesi, elde edilen bu karbon noktanın biyo-görüntüleme alanında kullanılabileceğinin göstergesi olmuştur. Karbon nokta yapının pH ile floresans şiddeti arasındaki ilişki incelenmiş ve pH arttıkça floresans şiddetinin azaldığı tespit edilmiştir. pH'ya bağlı olarak ölçülen zeta potansiyeli ve floresans şiddeti değerlerindeki değişimin karbon nokta yapısının yüzeyindeki fonksiyonel grupların protonlanması ve deprotonlanmasından kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca ortam sıcaklığı arttıkça absorpsiyon spektrumunda çok az değişimlerin olması bu numunenin oldukça geniş

sıcaklık aralıklarında kullanılabilirliğini göstermiştir. Elde edilen karbon noktaların kararlılığını belirlemek amacıyla örnekler 3 ay süreyle soğuk ortamda bekletilmiş ve sürenin sonunda absorpsiyon ve floresans ölçümleri alınmıştır. Ölçüm sonuçları, ilk elde edildiği zaman alınan sonuçlarla kıyaslandığında değişimin çok az olması bu numunelerin oldukça uzun süre kararlılığını koruduğunu kanıtlamıştır. Tüm sonuçlar, kırmızı soğandan elde edilen bu yeni karbon nokta örneklerinin biyokimyasal, optoelektronik, nanoteknoloji gibi birçok çalışma alanına önemli katkılar sağlayacağını göstermektedir.



KAYNAKLAR

- Abergel, D.S., Apalkov, V., Berashevich, J., Ziegler, K., Chacraorty, T., 2010. Properties of Graphene: a theoretical perspective. *Advances in Physics*, 59 (4), 261-482.
- Akar, T., 2015. Optik Atomik Spektrometri. Slide Player, <http://slideplayer.biz.tr/slide/8854019/>, (15.12.16).
- Aslandaş, A.M., Balcı, N., Arık, M., Şakiroğlu, H., Onganer, Y., Meral, K., 2015. Liquid nitrogen-assisted synthesis of fluorescent carbon dots from Blueberry and their performance in Fe³⁺ detection. *Applied Surface Science*, 356, 747-752.
- Bakalova, R., Ohba, H., Zhelev, Z., 2004. Quantum dots as photosensitizers? *Nat Biotechnol*, 22 (11), 1360-1361.
- Baker, S. N., Baker, G. A., 2010. Luminescent carbon nanodots: Emergent nanolights. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 49, 6726- 6744.
- Bhunia, S. K., Saha, A., Maity, A. R., Ray, S. C., Jana, N. R., 2013. Carbon nanoparticle-based fluorescent bioimaging probes. *Sci Rep.*, 3, 1473-1479.
- Bozkurt E., 2013. Kumarin 120 Boya Bileşiğinin Ters Misellerde Moleküler Davranışının Spektroskopik Tekniklerle İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bruchez, M. J., Moronne, M., Gin, P., Weiss, S., 1998. Alivisatos AP: Semiconductor nanocrystals as fluorescent biological labels. *Science*, 281 (5385), 2013-2016.
- Cao, L., Meziani, M. J., Sahu, S., Sun, Y. P., 2013. Photoluminescence properties of graphene versus other carbon nanomaterials. *Acc. Chem. Res.*, 46, 171-180.
- Castro Neto, A.H., Guinea, F., Peres, N.M.R., Novoselov, K.S., Geim, A.K., 2007. The Electronic Properties of Graphene. *Reviews of Modern Physics*, 81 (1), 109-162.
- Chan, W. C., Nie, S., 1998. Quantum dot bioconjugates for ultrasensitive nonisotopic detection. *Science*, 281 (5385), 2016-2018.
- Deb, P., Bhattacharyya, A., Ghosh, S. K., Ray, R., Lahiri, A., 2011. Excellent biocompatibility of semiconductor quantum dots encased in multifunctional poly (*N*-isopropylacrylamide) nanoreservoirs and nuclear specific labeling of growing neurons. *Appl Phys Lett.*, 98 (10), 103702-103703.
- Eda, G., Lin, Y.Y., Mattevi, C., Yamaguchi, H., Chen, H.A., Chen, I.S., Chen, C.W., Chhowalla, M., 2010. Blue photoluminescence from chemically derived graphene oxide. *Adv. Mater.*, 22, 505-509.
- Feng, J. J., Wang, A. J., Xu, Y., Bao, N., Zhou, D. L., Lv, J.J., Huang, H., 2013. One-pot green synthesis of nitrogen-doped carbon nanoparticles as fluorescent probes for mercury ions. *RSC Adv.*, 3, 21691-21696.
- Feng, X., Jiang, Y., Zhao, J., Miao, M., Cao, S., Fang, J., Shi, L., 2015. Easy synthesis of photoluminescent N-doped carbon dots from winter melon for bio-imaging. *RSC Adv.*, 5, 31250-31254.
- Gokus, T., Nair, R. R., Bonetti, A., Bohmler, M., Lombardo, A., Novoselov, K. S., Geim, A. K., Ferrari, A. C., Hartschuh, A., 2009. Making graphene luminescent by oxygen plasma treatment. *ACS Nano*, 3, 3963-3968.
- Gonçalves, H. M. R., 2013. Analytical Applications of Fluorescent Carbon Dots. Doktora Tezi, Faculdade De Ciencias Da Universidade Do Porto, Maio.

- Gu, N., Li, Y., Wang, M., Cao, M., 2013. Nano-opto-electronics for biomedicine. *ChinSci Bull.*, 58, 2521-2529.
- Hsiao Wei, T., 2009. Rheology And Stability of Olive Oil Cream Emulsion Stabilized by Sucrose Fatty Acid Esters Nanionic Surfactants, Yüksek Lisans Tezi, Malaya Kuala Lumpur Üniversitesi, Malezya.
- Hu, A., Wang, Y., 2014. Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications. *J. Mater. Chem. C*, 2, 6921-6939.
- Huang, C. Z., Wu, Z. L., Zhang, P., Gao, M. X., Liu, C. F., Wang, W., Leng, F., 2013. One-pot hydrothermal synthesis of highly luminescent nitrogen-doped amphoteric carbon dots for bioimaging from Bombyx mori silk-natural proteins. *J. Mater. Chem. B*, 1, 2868-2873.
- Huang, C. Z., Wu, Z. L., Zhang, P., Gao, M. X., Liu, C. F., Wang, W., Leng, F., 2013. One-pot hydrothermal synthesis of highly luminescent nitrogen-doped amphoteric carbon dots for bioimaging from Bombyx mori silk-natural proteins. *J. Mater. Chem. B*, 1, 2868-2873.
- Imae, T., Prassanan, A., 2013. One-Pot Synthesis of Fluorescent Carbon Dots from Orange Waste Peels. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 52, 15673-15678.
- Klimov, V. I., 2007. Spectral and dynamical properties of multiexcitons in semiconductor nanocrystals. *Annu Rev Phys Chem.*, 58, 635-673.
- Lawrence, K., Xia, F., Arrowsmith, R. L., Ge, H., Nelson, G. W., Foord, J. S., 2014. Hydrothermal conversion of one-photon-fluorescent poly(4-vinylpyridine) into two-photon-fluorescent carbon nanodots. *Langmuir*, <http://dx.doi.org/10.1021/la404866s>.
- Li, H. T., Kang, Z. H., Liu, Y., Lee, S.T., 2012. Carbon nanodots: Synthesis, properties and applications. *J. Mater. Chem.*, 22, 24230-24253.
- Liao, X., Xu, H., Yang, X., Li, G., Zhao, C., 2015. Green Synthesis of Fluorescent Carbon Dots for Selective Detection of Tartrazine in Food Samples. *J. Agric. Food Chem.*, 63 (30), 6707-6714.
- Lin, L. P., Rong, M. C., Luo, F., Chen, D. M., Wang, Y. R., Chen, X., 2014. Luminescent graphene quantum dots as new fluorescent materials for environmental and biological applications. *TrAC Trends Anal. Chem.*, 54, 83-102.
- Liu, S., Tian, J. Q., Wang, L., Zhang, Y. W., Qin, X. Y., Luo, Y. L., Asiri, A. M., Al-Youbi, A. O., Sun, X. P., 2012. Hydrothermal treatment of grass: A low-cost, green route to nitrogen-doped, carbon-rich, photoluminescent polymer nanodots as an effective fluorescent sensing platform for label-free detection of Cu (II) ions. *Adv. Mater.*, 24, 2037-2041.
- Luo, P. J. G., Sahu, S., Yang, S.T., Sonkar, S. K., Wang, J. P., Wang, H. F., LeCroy, G. E., Cao, L., Sun, Y. P., 2013. Carbon "quantum" dots for optical bioimaging. *J. Mater. Chem. B*, 1, 2116- 2127.
- Luo, P., Li, C., Shi, G., 2012. Synthesis of gold@carbon dots composite nanoparticles for surface enhanced Raman scattering. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 14, 7360-7366.
- Mao, C. D., Liu, H. P., Ye, T., 2007. Fluorescent carbon nanoparticles derived from candle soot. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 46, 6473-6475.

- Marin, A. C., 2016. Contributions to developments of Carbon (Quantum) Dots as fluorescent sensors. Doctoral Thesis, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cordoba, Cordoba.
- Mochalin, V. N., Shenderova, O., Ho, D., Gogotsi, Y., 2012. The properties and applications of nanodiamonds. *Nat. Nanotechnol.*, 7, 11-23.
- Nie, H., Li, M. J., Li, Q. S., Liang, S. J., Tan, Y. Y., Sheng, L., Shi, W., Zhang, S. X. A., 2014. Carbon dots with continuously tunable full-color emission and their application in ratiometric pH sensing. *Chem. Mater.*, 26, 3104-3112.
- Qu, S. N., Wang, X. Y., Lu, Q. P., Liu, X. Y., Wang, L. J., 2012. A Biocompatible Fluorescent Ink Based on Water-Soluble Luminescent Carbon Nanodots. *Angew. Chem., Int. Ed.*, 51, 12215-12218.
- Ramesh, S., Vikneswaran, R., Yahya, R., 2014. Green synthesized carbon nanodots as a fluorescent probe for selective and sensitive detection of iron(III) ions. *Materials Letters*, 136, 179-182.
- Reza, U. Ş., 2015. Moleküler Lüminesans Spektroskopisi. Slide Player, <http://slideplayer.biz.tr/slide/1927712/>, (15.12.16).
- Sahu, S., Behera, B., Maiti, T. K., Mohapatra S., 2012. Simple one-step synthesis of highly luminescent carbon dots from orange juice: application as excellent bio-imaging agents. *Chem. Commun.*, 48, 8835-8837.
- Saito, R., Dresselhaus, G. and Dresselhaus, M.S., 1998. Physical Properties of Carbon Nanotubes. Imperial College Pres, London, 259.
- Song, Y. B., Zhu, S. J., Yang, B., 2014. Bioimaging based on fluorescent carbon dots. *RSC Adv.*, 4, 27184-27200.
- Sun, H. B., Wang, L., Zhu, S. J., Wang, H. Y., Qu, S. N., Zhang, Y. L., Zhang, J. H., Chen, Q. D., Xu, H. L., Han, W., Yang, B., 2014. Common Origin of Green Luminescence in Carbon Nanodots and Graphene Quantum Dots. *ACS Nano*, 3 (8), 3963-3968.
- Sun, X. M., Liu, Z., Welsher, K., Robinson, J. T., Goodwin, A., Zaric, S., Dai, H. J., 2008. Nano-graphene oxide for cellular imaging and drug delivery. *Nano Res.*, 1, 203-212.
- Sun, X., Lu, W., Qin, X., Liu, S., Chang, G., Zhang, Y., Luo, Y., Asiri, A. M., Al-Youbi, A. O., 2012. Economical, Green Synthesis of Fluorescent Carbon Nanoparticles and Their Use as Probes for Sensitive and Selective Detection of Mercury(II) Ions. *Anal. Chem.*, 84 (12), 5351-5357.
- Sun, Y.P., Zhou, B., Lin, Y., Wang, W., Fernando, K.A., Pathak, P., Mezziani, M.J., Harruff, B.A., Wang, X., Wang, H., Luo, P.G., Yang, H., Kose, M.E., Chen, B., Veca, L.M., Xie, S.Y., 2006. Quantum-sized carbon dots for bright and colorful photoluminescence. *J. Am. Chem. Soc.*, 128 (24), 7756-7757.
- Terzi, P., 2013. Elektrodöndürme Yöntemiyle Elde Edilen Jelatin Nanoliflerin Gıdalarda Kıvam Verici Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İTÜ, İstanbul.
- Tetsuka, H., Asahi, R., Nagoya, A., Okamoto, K., Tajima, I., Ohta, R., Okamoto, A., 2012. Optically tunable amino-functionalized graphene quantum dots. *Adv. Mater.*, 24, 5333-5338.
- Thakur, M., Pandey, S.; Mewada, A., Patil, V., Khade, M., Goshi, E., Sharon M., 2014. Antibiotic Conjugated Fluorescent Carbon Dots as a Theranostic Agent for

- Controlled Drug Release, Bioimaging, and Enhanced Antimicrobial Activity. *Journal of Drug Delivery*, Article ID 282193.
- Valeur B., 2001. *Molecular Fluorescence: Principles and Applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim. 381 p.
- Wang, F., Chen, Y. H., Liu, C. Y., Ma, D. G., 2011. White Light- Emitting Devices Based on Carbon Dots' Electroluminescence. *Chem. Commun.*, 47, 3502-3504.
- Wang, J. H., Feng, J. J., Wang, W. J., Hai, X., Yu, Y. L., 2016. Green preparation of nitrogen-doped carbon dots derived from silkworm chrysalis for cell imaging. *J. Mater. Chem. B*, 4, 387-393.
- Wang, Q. L., Zheng, H. Z., Long, Y. J., Zhang, L. Y., Gao, M., Bai, W.J., 2011. Microwave-hydrothermal synthesis of fluorescent carbon dots from graphite oxide. *Carbon*, 49, 3134-3140.
- Wang, X., Cao, L., Yang, S. T., Lu, F., Mezziani, M. J., Tian, L., Sun, K. W., Bloodgood, M. A., Sun, Y. P., 2010. Band gap-like strong fluorescence in functionalized carbon nanoparticles. *Angew. Chem., Int. Ed.*, 49 (31), 5310-5314.
- Wang, Y., Kalytchuk, S., Zhang, Y., Shi, H. C., Kershaw, S. V., Rogach, A. L., 2014. Thickness-dependent full-color emission tunability in a flexible carbon dot ionogel. *J. Phys. Chem. Lett.*, 5, 1412-1420.
- Welsher, K., Liu, Z., Sherlock, S. P., Robinson, J. T., Chen, Z., Daranciang, D., Dai, H. J., 2009. A route to brightly fluorescent carbon nanotubes for near-infrared imaging in mice. *Nat. Nanotechnol.*, 4, 773-780.
- Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H. J., Gearheart, L., Raker, K., Scrivens, W. A., 2004. Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 12736-12737.
- Xue, M., Zhan, Z., Zou, M., Zhang, L., Zhao S., 2016. Green synthesis of stable and biocompatible fluorescent carbon dots from peanut shells for multicolor living cell imaging. *New J. Chem.*, 40, 1698-1703.
- Yang, B., Zhu, S., Song, Y., Zhao, X., Shao, J., Zhang, J., 2015. The photoluminescence mechanism in carbon dots (graphene quantum dots, carbon nanodots, and polymer dots): Current state and future perspective. *Nano Research*, 8 (2), 355-381.
- Yang, X., Liang, Q., Ma, W., Shi, Y., Li, Z., 2013. Easy synthesis of highly fluorescent carbon quantum dots from gelatin and their luminescent properties and applications. *Carbon*, 60, 421-428.
- Yang, X., Zhou, Y., Zhu, S.H., Luo, Y., Feng, Y., Dou, Y., 2014. Novel and green synthesis of high-fluorescent carbon dots originated from honey for sensing and imaging. *Biosensors and Bioelectronics*, 60, 292-298.
- Yu, S. J., Kang, M. W., Chang, H. C., Chen, K. M., Yu, Y. C., 2005. Bright fluorescent nanodiamonds: No photobleaching and low cytotoxicity. *J. Am. Chem. Soc.*, 127, 17604-17605.
- Zhao, Q. L., Zhang, Z. L., Huang, B. H., Peng, J., Zhang, M., Pang, D. W., 2008. Facile preparation of low cytotoxicity fluorescent carbon nanocrystals by electrooxidation of graphite. *Chem. Commun.*, 7 (41), 5116-5118.
- Zheng, H., Wang, Q., Long, Y., Zhang, L., Gao, M., Bai, W., 2011. Microwave-hydrothermal synthesis of fluorescent carbon dots from graphite oxide. *Carbon*, 49, 3134-3140.

- Zhou, H. S., Wang, L., 2014. Green Synthesis of Luminescent Nitrogen-Doped Carbon Dots from Milk and Its Imaging Application. *Anal. Chem.*, [dx.doi.org/10.1021/ac502646x](https://doi.org/10.1021/ac502646x).
- Zhou, J., Sheng, Z., Han, H., Zou, M., Li, C., 2012. Facile synthesis of fluorescent carbon dots using watermelon peel as a carbon source. *Materials Letters*, 66, 222-224.
- Zhu, C., Zhai, J., Dong, S., 2012. Bifunctional fluorescent carbon nanodots: green synthesis via soy milk and application as metal-free electrocatalysts for oxygen reduction. *Chem. Commun.*, 48, 9367-9369.
- Zhu, S. J., Tang, S. J., Zhang, J. H., Yang, B., 2012. Control the size and surface chemistry of graphene for the rising fluorescent materials. *Chem. Commun.*, 48, 4527-4539.
- Zhu, S. J., Zhang, J. H., Wang, L., Song, Y. B., Zhang, G. Y., Wang, H. Y., Yang, B. A., 2012. General route to make nonconjugated linear polymers luminescent. *Chem. Commun.*, 48, 10889-10891.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Erzurum’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2009 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi, Fen Fakültesi Kimya Bölümünden 2014 yılında mezun oldu. 2014 yılından beri Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizikokimya bilim dalında yüksek lisans öğrencisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.

